

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO EMPLEADO PARA
PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO ADITIVO DE GRAFENO**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Presentada por:

CRISTIAN ENRIQUE GONZÁLES OLÓRTEGUI

Asesor:

M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS

Cajamarca, Perú

2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Cristian Enrique Gonzáles Olórtegui
DNI: 72578756
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Ingeniería y Gerencia de la Construcción

2. Asesor: Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas

3. Grado académico o título profesional

- Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. Tipo de Investigación:

- Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

Optimización del diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno

6. Fecha de evaluación: **18/03/2024**

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: **18%**

9. Código Documento: **3117:340665320**

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **04/09/2024**

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*


.....
Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
DNI: 26604421

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
CRISTIAN ENRIQUE GONZÁLES OLÓRTEGUI
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las *10:00* horas, del día 19 de febrero de dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN**, **Dra. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN**, **Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**, y en calidad de Asesor el **Dr. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la Tesis titulada **"OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO ADITIVO DE GRAFENO"**, presentada por el Ingeniero Civil **CRISTIAN ENRIQUE GONZÁLES OLÓRTEGUI**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó *APROBADA* con la calificación de *...BUENO... (17) ...EXCELENTE...* la mencionada Tesis; en tal virtud, el Ingeniero Civil **CRISTIAN ENRIQUE GONZÁLES OLÓRTEGUI**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Siendo las *11:00* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
Asesor


.....
Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
Jurado Evaluador


.....
Dra. Yvonne Katherine Fernández León
Jurado Evaluador


.....
Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios

Por ser una guía en los momentos difíciles, por darme las fuerzas, la vida, la salud y la dedicación necesaria para poder lograr culminar e iniciar cada nuevo proyecto que se me presenta.

A mi madre

Por seguir siendo un apoyo incondicional, mi principal modelo a seguir, porque la calidad profesional y humana no se hereda, se inculca desde pequeño y se fortalece con cada lección, cada abrazo y cada caída y levantamiento; y por eso y mucho más, siempre serás la mejor.

A mi padre

Por seguir apoyándome en este camino, porque cada victoria se celebra y cada derrota se celebra aún más, porque son lecciones que cuestan mucho, pero a la larga siempre nos motivan a seguir levantándonos una y otra vez.

A mi familia

Por ser los mejores, porque nada sería posible sin ellos, porque me enseñaron que el apoyo viene desde un núcleo donde cada alegría es un pedazo cálido que alimenta el alma de toda la familia.

A nuestra familia

Y a ti, sobre todo a ti, que eres mi otro modelo a seguir, porque en ti veo reflejado mi futuro, mis esperanzas, mis sueños y deseos, por todo el amor que nos brindamos y por el cual esta tesis no habría sido posible, por todas las mañanas y tardes, con sol y con lluvia, con risas, sonrisas y abrazos, me diste el impulso necesario para continuar y hoy por fin decir, lo logramos, ya que no es solo un logro mío, también es tuyo, y solo uno de los que están por venir. Y como olvidar a Ikaris, que durmió a un lado mío en aquellas noches frías en las que concluí esta tesis.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, en sus aulas adquirí los conocimientos necesarios para alimentar mi curiosidad profesional y seguir mejorando día a día.

A mi asesor, M. Cs. Mauro Centurión Vargas, por el apoyo brindado en la orientación y elaboración de la presente tesis.

Al Ingeniero José Lezama Leiva, por los conocimientos otorgados en las aulas, por ser un excelente profesional y su guía en la elaboración de la presente investigación

Al Ingeniero Germán Chaffo, por el apoyo recibido en la elaboración y experimentación de los diferentes especímenes en el laboratorio de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería UNC.

Y un agradecimiento de manera muy especial al M. en I. Héctor Pérez Loayza, por su amistad, profesionalismo, excelencia como investigador, y cada conocimiento brindado en todos los años que tuve el gusto y honor de ser su alumno.

*La gente dice que nosotros nos tomamos las cosas muy en serio, pero es la única forma
en la cual llegas a algún lugar.*

Thom Yorke

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.....	xxii
GLOSARIO	xxiii
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT	xxv
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema	2
1.1.3. Formulación del problema	4
1.2. Justificación e Importancia	4
1.3. Delimitación de la investigación.....	5
1.4. Limitaciones de la Investigación	5
1.5. Objetivos de la Investigación.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes Nacionales	11
2.2. Marco Teórico Conceptual.....	15
2.2.1. El Concreto	15
2.2.2. El cemento Portland.....	16
2.2.3. Agua de mezcla y agua de curado.....	17
2.2.4. Agregados para el concreto.....	18
2.2.5. Clasificación de los agregados.....	18
2.2.6. Funciones del agregado.....	19

2.2.7.	Diseño de mezclas de concreto	19
2.2.8.	Resistencia a la compresión del concreto.....	20
2.2.9.	Resistencia a la flexión del concreto.....	21
2.2.10.	Pavimento.....	22
2.2.11.	Nanotecnología: Contexto Mundial, Latinoamericano y Perú.....	23
2.2.12.	Grafeno.....	24
2.2.12.1.	Propiedades del Grafeno	25
2.2.12.2.	Propiedad mecánica del Grafeno.....	26
2.2.13.	Nanotecnología en el Concreto	26
2.2.14.	Adición de grafeno en el Concreto.....	27
2.2.14.1.	Implementación del grafeno como aditivo en el concreto.....	28
2.2.15.	Reducción de muestras obtenidas de campo a tamaño de ensayo.....	28
2.2.16.	Granulometría	29
2.2.16.1.	Granulometría del Agregado Grueso.....	29
2.2.16.2.	Granulometría del Agregado Fino.....	29
2.2.16.3.	Análisis Granulométrico de los Agregados	30
2.2.17.	Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal.....	30
2.2.18.	Módulo de fineza	30
2.2.19.	Peso Específico y Absorción.....	31
2.2.20.	Contenido de Humedad.....	35
2.2.21.	Peso Unitario.....	36
2.2.22.	Ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan el tamiz N° 200 por lavado en agregados.....	38
2.2.23.	Resistencia a la Abrasión o Desgaste.....	39
2.2.24.	Procedimiento de diseño de mezclas.....	40
2.2.24.1.	Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas.....	40
2.2.24.2.	Procedimiento realizado para la selección de las proporciones del concreto por el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados.....	40
2.2.25.	Aditivo de Grafeno.....	42
2.3.	Definición de Términos Básicos	43
2.3.1.	Concreto.....	43
2.3.2.	Flexión	43
2.3.3.	Grafeno.....	43
2.3.4.	Nanoaditivo	43
2.3.5.	Nanoaditivo de grafeno	43
2.3.6.	Resistencia mecánica	44
2.3.7.	Resistencia a la compresión	44
2.3.8.	Resistencia a la flexión	44

2.3.9. Optimización del diseño de concreto	44
CAPÍTULO III.....	45
3. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES	45
3.1. Hipótesis	45
3.2. Variables	45
3.3. Operacionalización/Categorización de los componentes de las hipótesis.....	45
CAPÍTULO IV	46
4. MARCO METODOLÓGICO.....	46
4.1. Ubicación geográfica	46
4.1.1. Laboratorio.....	46
4.1.2. Cantera	47
4.2. Diseño de la Investigación.....	48
4.3. Método y tipo de investigación	49
4.4. Población, Muestra y Unidad de Análisis y Observación.	50
4.4.1. Población.....	50
4.4.2. Muestra.....	50
4.4.3. Unidad de Análisis y Observación.....	52
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	53
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	53
4.7. Equipos y materiales.	54
4.7.1. Equipos.....	54
4.7.2. Materiales.....	54
4.8. Matriz de consistencia metodológica	55
CAPÍTULO V.....	56
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
5.1. Presentación de Resultados	56
5.1.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados	56
5.1.2. Diseños de Mezcla	58
5.1.3. Asentamiento de las mezclas de concreto.....	59
5.1.4. Peso Unitario del Concreto Fresco.....	60
5.1.5. Peso Unitario del Concreto Endurecido	61
5.1.6. Resistencia a Compresión Promedio.....	62
5.1.7. Resistencia a Flexión Promedio (Módulo de Rotura)	65
5.2. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados.....	67
5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de la consistencia de la mezcla.....	67

5.2.2.	Análisis, interpretación y discusión del peso unitario del concreto fresco....	68
5.2.3.	Análisis, interpretación y discusión del peso unitario del concreto endurecido	68
5.2.4.	Análisis, interpretación y discusión de la resistencia a compresión promedio de los especímenes cilíndricos	69
5.2.5.	Análisis, interpretación y discusión de la resistencia a flexión promedio (Módulo de Rotura) de los especímenes prismáticos	78
5.3.	Contrastación de la hipótesis.....	87
CAPÍTULO VI		89
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		89
6.1.	Conclusiones	89
6.2.	Recomendaciones.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		93
A. APÉNDICE I: DATOS DE LABORATORIO		98
B. APÉNDICE II: DISEÑO DE MEZCLAS.....		113
C. APÉNDICE III: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO.....		117
D. APÉNDICE IV: RESULTADOS Y CÁLCULOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN		130
E. APÉNDICE V: CÁLCULOS Y RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN		145
F. APÉNDICE VI: ANÁLISIS ESTADÍSTICO		160
G. APÉNDICE VII: PANEL FOTOGRÁFICO		191
A. ANEXO I: FICHA TÉCNICA CEMENTO PACASMAYO TIPO I – BOLSA VERDE		201
B. ANEXO II: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		202
C. ANEXO III: ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS		203
D. ANEXO IV: FORMAS ALOTRÓPICAS DEL CARBONO		204
E. ANEXO V: FICHA TÉCNICA ADITIVO DE GRAFENO – NANOGRAFENE DISPERSION.....		205

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización/Categorización de los componentes.....	45
Tabla 2: Coordenadas UTM – Universidad Nacional de Cajamarca.....	46
Tabla 3: Coordenadas UTM – Cantera La Victoria.....	47
Tabla 4: Criterio y tipo de investigación.....	49
Tabla 5: Número de especímenes de diseño.....	50
Tabla 6: Tamaño de la muestra mediante diseños factoriales.....	51
Tabla 7: Matriz de consistencia metodológica.....	55
Tabla 8: Propiedades físicas del agregado fino – Cantera “La Victoria”.....	56
Tabla 9: Propiedades físicas del agregado grueso – Cantera “La Victoria”.....	57
Tabla 10: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla de prueba.....	58
Tabla 11: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla patrón (corregida).....	58
Tabla 12: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.30% de aditivo de grafeno.....	58
Tabla 13: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.40% de aditivo de grafeno.....	58
Tabla 14: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.50% de aditivo de grafeno.....	58
Tabla 15: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.60% de aditivo de grafeno.....	59
Tabla 16: Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.70% de aditivo de grafeno.....	59
Tabla 17: Asentamiento en milímetros de las mezclas de concreto con aditivo y sin aditivo de grafeno.....	59
Tabla 18: Peso unitario del concreto fresco sin aditivo y con aditivo de grafeno.....	60
Tabla 19: Peso unitario del concreto endurecido sin aditivo y con aditivo de grafeno.....	61
Tabla 20: Promedio de ensayos a compresión a 7, 14 y 28 días de las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno.....	62
Tabla 21: Promedio de ensayos a flexión (Módulo de rotura) a 7, 14 y 28 días de las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno.....	65
Tabla 22: Normalidad de los errores – resistencia a la compresión a los 7 días.....	70
Tabla 23: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la compresión a los 7 días.....	70
Tabla 24: Análisis de varianzas – resistencia a la compresión a los 7 días.....	71
Tabla 25: Prueba de Tukey – resistencia a la compresión a los 7 días.....	72
Tabla 26: Normalidad de los errores – resistencia a la compresión a los 14 días.....	72
Tabla 27: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la compresión a los 14 días.....	73

Tabla 28: Análisis de varianzas – resistencia a la compresión a los 14 días.....	73
Tabla 29: Prueba de Tukey – resistencia a la compresión a los 14 días.....	74
Tabla 30: Normalidad de los errores – resistencia a la compresión a los 28 días	75
Tabla 31: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la compresión a los 28 días	75
Tabla 32: Análisis de varianzas – resistencia a la compresión a los 28 días.....	76
Tabla 33: Prueba de Tukey – resistencia a la compresión a los 28 días.....	77
Tabla 34: Normalidad de los errores – resistencia a la flexión a los 7 días.	79
Tabla 35: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la flexión a los 7 días.....	79
Tabla 36: Análisis de varianzas – resistencia a la flexión a los 7 días	80
Tabla 37: Prueba de Tukey – resistencia a la flexión a los 7 días	81
Tabla 38: Normalidad de los errores – resistencia a la flexión a los 14 días.	81
Tabla 39: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la flexión a los 14 días.....	82
Tabla 40: Análisis de varianzas – resistencia a la flexión a los 14 días	82
Tabla 41: Prueba de Tukey – resistencia a la flexión a los 14 días.....	83
Tabla 42: Normalidad de los errores – resistencia a la flexión a los 28 días.	84
Tabla 43: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la flexión a los 28 días.....	84
Tabla 44: Análisis de varianzas – resistencia a la flexión a los 28 días	85
Tabla 45: Prueba de Tukey – resistencia a la flexión a los 28 días.....	86
Tabla 46: Ecuación y coeficiente de correlación entre el porcentaje de aditivo de grafeno en el diseño de concreto y su resistencia mecánica a compresión	90
Tabla 47: Ecuación y coeficiente de correlación entre el porcentaje de aditivo de grafeno en el diseño de concreto y su resistencia mecánica a flexión.	91
Tabla 48: Ensayo análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 01 (NTP 400.012 / ASTM C-136)	98
Tabla 49: Ensayo análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 02 (NTP 400.012 / ASTM C-136)	99
Tabla 50: Ensayo análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 03 (NTP 400.012 / ASTM C-136)	100
Tabla 51: Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 01 (ASTM C 136 / NTP 400.012).....	101
Tabla 52: Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 02 (ASTM C 136 / NTP 400.012).....	102
Tabla 53: Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 03 (ASTM C 136 / NTP 400.012).....	104
Tabla 54: Ensayo de densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (ASTM C128 / NTP 400.022)	105

Tabla 55: Ensayo de densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (ASTM C127 / NTP 400.021)	106
Tabla 56: Ensayo cálculo del peso específico del agua - Ensayo cálculo del factor (f) para la densidad (peso unitario) del agregado fino y grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017).....	106
Tabla 57: Ensayo cálculo del factor (f) para la densidad (peso unitario) del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017).....	106
Tabla 58: Ensayo de densidad (peso unitario suelto) del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)	107
Tabla 59: Ensayo de densidad (peso unitario compactado) del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017).....	107
Tabla 60: Ensayo cálculo del factor (f) para la densidad (peso unitario) del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017).....	107
Tabla 61: Ensayo de densidad (peso unitario suelto) del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)	108
Tabla 62: Ensayo de densidad (peso unitario compactado) del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017).....	108
Tabla 63: Ensayo partículas <200 para el agregado fino (ASTM C117 / NTP 400.018)	109
Tabla 64: Ensayo partículas <200 para el agregado grueso (ASTM C117 / NTP 400.018)	109
Tabla 65: Ensayo contenido de humedad para el agregado fino (ASTM C566 / NTP 339.185)	109
Tabla 66: Ensayo contenido de humedad para el agregado grueso (ASTM C566 / NTP 339.185)	110
Tabla 67: Resistencia al desgaste por abrasión (ASTM C131 / NTP 400.019)	110
Tabla 68: Características físicas del agregado fino	111
Tabla 69: Características físicas del agregado grueso.....	112
Tabla 70: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla de prueba (sin correcciones)	117
Tabla 71: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla corregida por apariencia, asentamiento, agua adicional y contenido de aire	117
Tabla 72: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla corregida por resistencia	118
Tabla 73: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla patrón sin aditivo de grafeno (0%).....	118
Tabla 74: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.30%	120
Tabla 75: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.40%	122
Tabla 76: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.50%	124
Tabla 77: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.60%	126
Tabla 78: Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.70%	128
Tabla 79: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0% a los 7 días.....	130

Tabla 80: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0% a los 14 días.....	130
Tabla 81: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0% a los 28 días.....	131
Tabla 82: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.30% a los 7 días.....	131
Tabla 83: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.30% a los 14 días.....	132
Tabla 84: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.30% a los 28 días.....	132
Tabla 85: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.40% a los 7 días.....	133
Tabla 86: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.40% a los 14 días.....	133
Tabla 87: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.40% a los 28 días.....	134
Tabla 88: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.50% a los 7 días.....	134
Tabla 89: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.50% a los 14 días.....	135
Tabla 90: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.50% a los 28 días.....	135
Tabla 91: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.60% a los 7 días.....	136
Tabla 92: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.60% a los 14 días.....	136
Tabla 93: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.60% a los 28 días.....	137
Tabla 94: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.70% a los 7 días.....	137
Tabla 95: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.70% a los 14 días.....	138
Tabla 96: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.70% a los 28 días.....	138
Tabla 97: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0% a los 7 días	139

Tabla 98: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0% a los 14 días	139
Tabla 99: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0% a los 28 días	139
Tabla 100: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.30% a los 7 días	140
Tabla 101: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.30% a los 14 días	140
Tabla 102: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.30% a los 28 días	140
Tabla 103: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.40% a los 7 días	141
Tabla 104: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.40% a los 14 días	141
Tabla 105: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.40% a los 28 días	141
Tabla 106: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.50% a los 7 días	142
Tabla 107: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.50% a los 14 días	142
Tabla 108: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.50% a los 28 días	142
Tabla 109: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.60% a los 7 días	143
Tabla 110: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.60% a los 14 días	143
Tabla 111: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.60% a los 28 días	143
Tabla 112: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.70% a los 7 días	144
Tabla 113: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.70% a los 14 días	144
Tabla 114: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.70% a los 28 días	144
Tabla 115: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 7 días.	163

Tabla 116: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 14 días.	168
Tabla 117: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días	174
Tabla 118: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.	179
Tabla 119: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.	184
Tabla 120: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.	189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición del concreto.	16
Figura 2: Tipo de fallas.	21
Figura 3: Esquema método de carga en el punto medio.	22
Figura 4: Ciudad de Cajamarca.....	46
Figura 5: Universidad Nacional de Cajamarca (UNC).	47
Figura 6: Ubicación Cantera La Victoria.	48
Figura 7: Número de probetas en función del error máximo e ASTM C 823.	52
Figura 8: Tipo de asentamiento de las mezclas de concreto sin aditivo y con aditivo de grafeno en milímetros.....	60
Figura 9: Peso unitario del concreto fresco para las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno.....	61
Figura 10: Peso unitario del concreto endurecido para las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno.....	62
Figura 11: Resistencia a compresión del concreto a los 7 días Vs. Porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	63
Figura 12: Resistencia a compresión del concreto a los 14 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	63
Figura 13: Resistencia a compresión del concreto a los 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	64
Figura 14: Resistencia a compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	64
Figura 15: Resistencia a flexión del concreto a los 7 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	65
Figura 16: Resistencia a flexión del concreto a los 14 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	66
Figura 17: Resistencia a flexión del concreto a los 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	66
Figura 18: Resistencia a flexión del concreto a los 7, 14 y 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla.....	67
Figura 19: Curva granulométrica del agregado fino – Gradación “M” (Ensayo N°01).....	99
Figura 20: Curva granulométrica del agregado fino – Gradación “M” (Ensayo N°02).....	100
Figura 21: Curva granulométrica del agregado fino – Gradación “M” (Ensayo N°03).....	101
Figura 22: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso N° 67 (Ensayo N°01)	102
Figura 23: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso N° 67 (Ensayo N°02)	103
Figura 24: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso N° 67 (Ensayo N°03)	105

Figura 25: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E7, sin aditivo de grafeno a los 28 días	145
Figura 26: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E5, con aditivo de grafeno al 0.30% a los 28 días.....	146
Figura 27: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E8, con aditivo de grafeno al 0.40% a los 28 días.....	147
Figura 28: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E4, con aditivo de grafeno al 0.50% a los 28 días.....	148
Figura 29: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E2, con aditivo de grafeno al 0.60% a los 28 días.....	149
Figura 30: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E7, con aditivo de grafeno al 0.70% a los 28 días.....	150
Figura 31: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E4, sin aditivo de grafeno a los 28 días	151
Figura 32: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E6, con aditivo de grafeno al 0.30% a los 28 días.....	152
Figura 33: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E3, con aditivo de grafeno al 0.40% a los 28 días.....	153
Figura 34: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E3, con aditivo de grafeno al 0.50% a los 28 días.....	154
Figura 35: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E1, con aditivo de grafeno al 0.60% a los 28 días.....	155
Figura 36: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E1, con aditivo de grafeno al 0.70% a los 28 días.....	156
Figura 37: Gráfica carga Vs. deformación de especímenes cilíndricos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 7 días	157
Figura 38: Gráfica carga Vs. deformación de especímenes cilíndricos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 14 días	157
Figura 39: Gráfica carga Vs. deformación de especímenes cilíndricos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 28 días	158
Figura 40: Gráfica carga Vs. deflexión de especímenes prismáticos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 7 días	158
Figura 41: Gráfica carga Vs. deflexión de especímenes prismáticos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 14 días	159
Figura 42: Gráfica carga Vs. deflexión de especímenes prismáticos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 28 días	159

Figura 43: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 7 días.....	160
Figura 44: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 7 días.	161
Figura 45: Diferencias de las medias para resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 7 días.	164
Figura 46: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 14 días.....	165
Figura 47: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 14 días.	166
Figura 48: Diferencias de las medias para resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 14 días.....	169
Figura 49: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.....	170
Figura 58: Prueba de normalidad con gráfica de histogramas de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.....	170
Figura 51: Rechazo de hipótesis nula, no cumple supuesto de normalidad de los residuos cuando Valor $p < 0.005$	171
Figura 52: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.	172
Figura 53: Diferencias de las medias para resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.....	175
Figura 54: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.....	176
Figura 55: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.	177
Figura 56: Diferencias de las medias para resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.	180
Figura 57: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.....	181
Figura 58: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.	182
Figura 59: Diferencias de las medias para resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.	185
Figura 60: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.....	186

Figura 61: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.	187
Figura 62: Diferencias de las medias para resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.	190
Figura 63: Elaboración de la mezcla de concreto en laboratorio.	191
Figura 64: Ensayo del cono de Abrahams y medición del asentamiento (Slump).....	191
Figura 65: Colocación, compactación y enrasado de la mezcla en los moldes cilíndricos.....	192
Figura 66: Colocación y compactación de la mezcla en los moldes prismáticos.	192
Figura 67: Aditivo de grafeno adicionado a las mezclas, dosificación y pesaje.....	193
Figura 68: Especímenes cilíndricos y prismáticos en la poza de curado.	193
Figura 69: Especímenes cilíndricos y prismáticos para ensayos a compresión y flexión (Módulo de Rotura).....	194
Figura 70: Codificación de especímenes cilíndricos y prismáticos previo a los correspondientes ensayos	194
Figura 71: Ensayo a compresión de los especímenes cilíndricos.	195
Figura 72: Ensayo a flexión de los especímenes prismáticos	195
Figura 73: Tipo de falla en espécimen cilíndrico sin Aditivo de Grafeno a los 28 días	196
Figura 74: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.30% a los 28 días	196
Figura 75: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.40% a los 28 días	197
Figura 76: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.50% a los 28 días	197
Figura 77: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.60% a los 28 días	198
Figura 78: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.70% a los 28 días	198
Figura 79: Tipo de falla en especímenes prismáticos en el centro, sin aditivo y con aditivo de grafeno a los 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70%.....	199
Figura 80: Estructura de pavimento rígido	203
Figura 81: Estructura de pavimento flexible.....	203
Figura 82: Estructura de pavimento compuesto.....	203
Figura 83: Formas alotrópicas del carbono A) Diamante B) Grafito c)Carbono Amorfo d)Fullereno E) Nanotubo de carbono de pared simple f) nanotubo de carbono de pared múltiple	204
Figura 84: Elementos grafíticos a) Fullerenos (0-D); b) Nanotubos (1-D); c) Grafito (3-D) .	204

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

ACI	:	American Concrete Institute.
ASTM	:	American Society for Testing and Materials.
NTP	:	Norma Técnica Peruana.
UTM	:	Universal Transverse Mercator.

GLOSARIO

Cemento: Mezcla formada de arcilla y materiales calcáreos, sometida a cocción y muy finamente molida, que mezclada a su vez con agua se solidifica y endurece.

Compresión: Presión a que está sometido un cuerpo sólido elástico por la acción de fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.

Concreto: Mezcla de agua, arena, grava y cemento; que una vez endurecida, conforma los diferentes elementos en obras civiles y arquitectónicas, otorgándole resistencia y durabilidad requerida.

Flexión: Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido elástico por la acción de una fuerza que lo deforma, esta fuerza comúnmente se aplica de forma perpendicular a su cara longitudinal y el sólido es un elemento alargado.

Grafeno: Material nanométrico bidimensional, formado en una sola capa de átomos de carbono fuertemente cohesionados mediante enlaces que presentan hibridación sp^2 y dispuestos en una superficie uniforme, ligeramente ondulada, con una estructura de configuración atómica hexagonal. Es una de las formas alotrópicas del carbono, así como el grafito y el diamante. Un milímetro de grafito contiene tres millones de capas de grafeno.

NanoGraphene Dispersion: Aditivo o dispersión de grafeno en solución acuosa, de alta pureza o calidad, que permite trasladar las propiedades mecánicas del grafeno al concreto.

Optimización: Mejoramiento o acrecentamiento de las características originales de una actividad, elemento, proceso, etc.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de optimizar el diseño de un concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno, para lo cual se analizan propiedades importantes en este diseño como son: la resistencia mecánica a la compresión y flexión. El diseño de concreto se elaboró de acuerdo al método de finura de la combinación de agregados, para ello se utilizó agregados fino y grueso de la cantera “La Victoria” con características adecuadas para el diseño del concreto para pavimentos rígidos, cemento portland Tipo I de la empresa Pacasmayo, y aditivo de grafeno – Nanographene Dispersion – de la empresa Nanographene. Con los materiales descritos se elaboraron 144 especímenes cilíndricos y 144 especímenes prismáticos sin adición y con aditivo de grafeno al 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70% en peso del cemento, los cuales fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días (8 especímenes cilíndricos y 8 especímenes prismáticos para cada edad y adición de aditivo). Los resultados obtenidos muestran que la optimización de la resistencia mecánica del diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos se obtiene utilizando aditivo de grafeno al 0.70%, dando una resistencia a compresión a los 7 días de 38.92 Mpa (396.90 kg-f/cm²), resistencia a compresión a los 14 días de 42.18 Mpa (430.07 kg-f/cm²), resistencia a compresión a los 28 días de 44.67 Mpa (455.54 kg-f/cm²); y resistencia a flexión a los 7 días de 4.37 Mpa (44.53 kg-f/cm²), resistencia a flexión a los 14 días de 4.70 Mpa (47.88 kg-f/cm²), y resistencia a flexión a los 28 días de 4.91 Mpa (50.05 kg-f/cm²) , por lo tanto y comparando con la resistencia de diseño que es igual a 34.32 Mpa (350 kg-f/cm²) el porcentaje de optimización sobrepasa el 10%, tanto para compresión como flexión, sin afectar las características que debe poseer el diseño de concreto para pavimentos rígidos por norma.

Palabras Clave: Pavimentos rígidos, optimización, resistencia mecánica, resistencia compresión, resistencia flexión, grafeno, NanoGraphene Dispersion

ABSTRACT

The present research work was developed with the objective of optimizing the design of a concrete used for rigid pavements using graphene additive, for which important properties in this design are analyzed, such as: mechanical resistance to compression and flexion. The concrete design was elaborated according to the fineness method of the combination of aggregates, for this purpose fine and coarse aggregates from the "La Victoria" quarry were used with adequate characteristics for the design of concrete for rigid pavements, Portland Type I cement of the company Pacasmayo, and graphene additive - Nanographene Dispersion - from the company Nanographene. With the materials described, 144 cylindrical specimens and 144 prismatic specimens were made without addition and with graphene additive at 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% and 0.70% by weight of cement, which were tested at 7, 14 and 28 days (8 cylindrical specimens and 8 prismatic specimens for each age and additive addition). The results obtained show that the mechanical resistance of the concrete design used for rigid pavements is obtained using a 0.70% graphene additive, giving a compressive strength at 7 days of 38.92 Mpa (396.90 kg-f/cm²), compressive strength at 14 days of 42.18 Mpa (430.07 kg-f/cm²), compressive strength at 28 days of 44.67 Mpa (455.54 kg-f/cm²); and flexural strength at 7 days of 4.37 Mpa (44.53 kg-f/cm²), flexural strength at 14 days of 4.70 Mpa (47.88 kg-f/cm²), and flexural strength at 28 days of 4.91 Mpa (50.05 kg-f/cm²), therefore, and comparing with the design resistance that is equal to 34.32 Mpa (350 kg-f/cm²) the optimization percentage exceeds 10%, both for compression and bending, without affecting the characteristics that the concrete design for rigid pavements must have as a standard.

Keywords: Rigid pavements, optimization, mechanical resistance, compression resistance, flexural strength. graphene, NanoGraphene Dispersion

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

Desde los inicios de la humanidad, el hombre ha experimentado con diversos materiales, en busca de crear instrumentos, refuerzos y construcciones que le permitieran desenvolverse e incluso mejorar sus actividades, el elemento precursor que forma parte de las obras que aún se mantienen en la actualidad es la piedra, a la cual se unieron más elementos como las cales, calizas, puzolanas y demás adiciones presentes en una amplia gama en la construcción, hasta llegar hasta lo que hoy en día conocemos como cemento y su química necesaria que hace que el concreto llegue a resistencias altas, sea impermeable, presente una durabilidad mayor, etc, y así poder cumplir con las nuevas exigencias en construcciones, ya sea en edificios, obras hidráulicas, puentes y pavimentos (Recuenco, 2017).

Por otro lado, desde la antigüedad el hombre ha creado caminos para poder unir pueblos, poder acceder a mercados o disminuir tiempos de viaje; haciendo que estos necesiten ser duraderos, puedan soportar cargas altas, e incluso evacuar aguas en tiempos de lluvia. Ya sean carreteras, caminos afirmados, trochas carrozables o vías urbanas, es necesario que su desempeño sea óptimo y dure el mayor tiempo posible, y así lo comprendieron a lo largo de la historia, es por ello que necesitaron mejores procedimientos y materiales para lograr esto, ya sean piedras, areniscas, piedras aplanadas de gran espesor, adoquines de gran espesor con juntas de mortero hidráulico, entre otros; y así hasta a la actualidad en donde tenemos pavimentos flexibles y pavimentos rígidos (Recuenco, 2017).

Como parte de una amplia gama de nuevos materiales en la construcción, surge un material, que viene siendo investigado desde hace algunos años, cuyas ventajas se vienen demostrando en distintos campos de la actividad humana; el denominado material del futuro, es una sustancia

compuesta por carbono puro en un patrón hexagonal (muy similar al grafito), el cuál es llamado **Grafeno** (Graphenano Smart Materials, 2018).

Como actual material con potencial de investigación, distintas empresas alrededor del mundo se encuentran experimentando para poder acceder y potenciar su propiedades y aplicarlas a las distintas ramas de la ingeniería, siendo una de ellas la ingeniería civil, adicionando al concreto ciertos porcentajes, ya sea en forma de polvo (gramos), o en forma de aditivo que se encuentra en proporción gr/litro diluida en una solución acuosa (litros); en ambos casos las adiciones han resultado ser beneficiosas para el producto final, incrementando no solo su resistencia (debido a que el grafeno es 200 veces más resistente que el acero actual más fuerte) sino también disminuyendo su costo, incrementando su vida útil, y permitiendo disminuir la emisión de gases contaminantes, aumenta la impermeabilización del concreto, etc (Graphenano Smart Materials, 2018).

Como parte de la investigación, y aporte al conocimiento con respecto a la tecnología del concreto, dentro de un contexto en el cuál los proyectos necesitan optimizar tanto los materiales utilizados para el concreto en obra como la resistencia mecánica del mismo en estado endurecido sea el máximo posible, debido al duro golpe económico que acarreo la pandemia por COVID-19, es necesario la utilización de nuevas tecnologías, en este caso los actuales nanos aditivos, el grafeno, denominado también el nuevo supermaterial, para poder obtener mejores concretos, de buena calidad y con mayores beneficios a corto, mediano y largo plazo; que serán usados en nuestras obras civiles.

1.1.2. Descripción del problema

El concreto es el material más usado desde hace muchos años en la ingeniería civil para la construcción de obras de todo tipo, ya sea a nivel local, nacional y mundial; el rápido avance de nuevas tecnologías en la ingeniería, ha influido en la aparición de nuevos materiales, entre ellos resaltan los aditivos y fibras, que siendo adicionadas a la mezcla compuesta para formar el concreto, mejoran propiedades físico-mecánicas específicas de este. (Surahyo, 2019).

El concreto como material compuesto presenta una buena resistencia ante esfuerzos de compresión, pero también presenta deficiencias ante otro tipo de esfuerzos (tracción y cortante), es por esto que se busca de alguna forma disminuir el efecto de estos esfuerzos sin emplear armaduras de acero. Se presenta como una opción técnica y económica para reforzar el concreto, el uso de fibras (metálicas y de polipropileno) y aditivos, los cuales, si bien son dos buenas opciones, presentan ciertas desventajas si el diseño de concreto no es el adecuado, que en vez mejorar sus propiedades, pueden encarecer el concreto y a su vez el proyecto en el cuál será usado, tanto en el corto como largo plazo. (Surahyo, 2019)

Los pavimentos rígidos son conformados por una superficie de concreto que absorbe la mayor parte de los esfuerzos generados por el tránsito de vehículos, esta superficie está asentada en una base, o directamente sobre la subrasante dependiendo del tipo de suelo (en algunos casos es necesario mejorar los suelos); entonces se debe realizar un adecuado diseño de concreto, con el fin de ser capaz de resistir el paso de los vehículos durante el horizonte de vida útil, sin sufrir deterioros acelerados o problemas con fallas estructurales y/o funcionales. Uno de los principales problemas encontrados en la provincia de Cajamarca, es el deterioro en el que se encuentran los pavimentos de las principales calles, ya sean flexibles, rígidos o mixtos, es común encontrar en ellos fisuras, depresiones, baches y otras patologías que dificultan el tránsito normal de los vehículos. En los pavimentos rígidos, podemos observar las distintas longitudes y formas de las fisuras que solo logran acelerar más el deterioro del pavimento y el terreno en donde se encuentra apoyada; entre las diferentes causas que provocan esas fisuras se pueden citar el mal diseño del concreto en obra, ya sea por mal cálculo, mala calidad de los materiales, o errores en el proceso constructivo; por citar algunas (Sánchez, 2023).

Entonces se presentan muchos más proyectos viales en los cuales las empresas contratistas implementan sistemas de calidad más rigurosos, entre ellos el control de calidad del concreto, pero aún se sigue elaborando un concreto de manera tradicional que no aporta más ventajas que el cumplir con un mínimo de resistencia mecánica de diseño (compresión y flexión), lo cual funciona muy bien los primeros años de puesta en marcha de cada proyecto

vial, pero llegado a un punto el concreto se fatiga o comienza a presentar problemas relacionados a patologías o al control de calidad y por ende cede ante los mismo esfuerzos a los que fue diseñado, no llegando a cumplir con la duración a la que se tenía prevista.

El principal problema es el no adoptar nuevas tecnologías, que pueden ayudar a aumentar la vida útil de los pavimentos, y también disminuir el costo de los mismos; ya que no son tan usados como otras adiciones, pero que deberían tomarse en cuenta a la hora de elaborar un concreto de mejor calidad en pavimentos rígidos. En el diseño de concreto para pavimentos rígidos, no se utiliza este Nanoaditivo (aditivo de grafeno) primero por el desconocimiento de este nuevo supermaterial (nanoadición), en las principales empresas productoras de concreto pre fabricado y los ingenieros residentes en obras viales; otro punto es que al encontrarse en una fase de mejora para poder masificar su uso, se desconoce los porcentajes de variaciones de este aditivo a utilizar para poder obtener un adecuado diseño de concreto para pavimentos rígidos; como un tercer punto, no se tiene la suficiente confianza en la utilización de aditivo de grafeno por ser una nueva tecnología para el concreto y no tener en claro los beneficios que aportaría en las obras civiles, en este caso pavimentos rígidos; y como un apartado final aún se vienen realizando investigaciones alrededor del mundo en cuanto al grafeno adicionado al concreto, lo cual aún limita económicamente su uso de manera general.

1.1.3. Formulación del problema

¿En qué porcentaje optimiza el diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos la utilización de aditivo de grafeno?

1.2. Justificación e Importancia

La presente investigación se justifica porque se aplicará a un diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno, para mejorar las características del concreto a emplearse en las obras viales a ejecutarse en la ciudad de Cajamarca, para ello la propuesta del diseño de concreto con utilización de aditivo de grafeno nos permite generar un adecuado

uso de los recursos, lo que a largo plazo genera un menor costo promoviendo la ejecución de más obras con esta nueva tecnología, que genere un beneficio adicional en su vida útil, ya que frente a la acción de las diferentes cargas que puedan presentarse, así como las características de la zona, se puedan comportar de una manera superior a otros concretos.

De tal manera que, incorporando esta nueva tecnología al concreto, sirva como un precedente para que más profesionales (ingenieros y arquitectos), puedan observar los beneficios de utilizar esta tecnología y se difunda su uso en más proyectos, así como en futuras investigaciones en el ámbito de la construcción.

1.3. Delimitación de la investigación

La investigación se realizó en un periodo único de 12 meses (durante el año 2018 y 2019), la información obtenida de las Normas Técnicas Peruanas, ASTM o recomendaciones ACI, no varió ya que no existieron actualizaciones o modificaciones de las mismas.

Se utilizó agregados de la cantera La Victoria (las características de los agregados de río podrían variar a través del tiempo) y cemento portland Tipo I, los cuales son parte de la mezcla de concreto $f'c = 350 \text{ kg-f/cm}^2$, que se fabricó en laboratorio para poder obtener las probetas estándar, además se incorporó a estas probetas de concreto (cilíndricas y prismáticas) el aditivo grafeno - NanoGraphene (0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70% en peso del cemento), se ensayaron estos especímenes (resistencia a compresión y flexión).

1.4. Limitaciones de la Investigación

La investigación realizada solo será aplicada en la ciudad de Cajamarca, debido a que los agregados que fueron utilizados provienen de la Cantera “La Victoria”, los cuales cumplen con las características para la elaboración de la mezcla.

La empresa NanoGraphene Inc (Nueva York, USA) proporcionó el aditivo utilizado en la investigación, para lo cual se envió previamente las

características de los agregados y del tipo de cemento a utilizar, para que puedan otorgar un rango tentativo de porcentaje de adición; 0.20% - 1.00%.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

- Optimizar el diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la incidencia del aditivo de grafeno en la resistencia a compresión del diseño de concreto.
- Determinar la incidencia del aditivo de grafeno en la resistencia a flexión del diseño de concreto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Navarro & Forero (2017), quienes, en su trabajo de grado desarrollada en la Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá, buscaron evaluar las ventajas y/o mejoras de la adición de nanotubos de carbono (forma alotrópica del carbono, entendiéndose como láminas de grafeno enrolladas) en la resistencia mecánica a compresión de un diseño de concreto, para esto se produjo un concreto de $f'_c = 210 \text{ kg-f/cm}^2$ (21 Mpa), diseñado con el método RNL (Road Note Laboratory) agregando los nanotubos de carbono a la mezcla de forma directa (sin pasar por una dispersión o aditivo) y en tres porcentajes de relación al peso de cemento (0%, 0.30% y 0.50%), elaborando especímenes cilíndricos de 4"x 8", para luego ser curados por inmersión durante 28 días, y finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión. El equipo de investigadores encontró que, la resistencia mecánica a la compresión de los especímenes aumentó en 11.70% para la mezcla con 0.30% de nanotubos de carbono en peso de cemento y en 10.20% para la mezcla con 0.50%. Concluyen entonces, que la adición de los nanotubos de carbono en la mezcla de concreto, aumenta la resistencia mecánica del concreto.

Dimov et al (2018), el equipo de la Universidad de Exeter en el Reino Unido, buscaron determinar qué ventajas le otorga el grafeno al adicionarlo al concreto, para tal efecto agregaron dos dispersiones de grafeno (IG Y FG) y escamas o láminas de grafeno (UTGr) a un concreto de dosificación 1:2:3 (Cemento Portland Tipo II, arena fina seca, y agregado grueso de 10mm) y con una relación agua cemento de 0.57 para los especímenes cúbicos (0.10m x 0.10m x 0.10m) y de 0.50 para las vigas (0.10m x 0.10m x 0.40 m), para luego ensayar los especímenes cúbicos a compresión (7 y 28 días de curado), permeabilidad y resistividad eléctrica, y las vigas o especímenes prismáticos a flexión (7 y 28 días de curado). Los porcentajes de grafeno en peso de cemento fueron de 0.20%

a 1%, con un incremento de 0.10%. Entre los principales resultados se observa que: 1) La resistencia mecánica a compresión puede incrementarse hasta en un 146%, y hasta en un 80,5% el módulo de Elasticidad del concreto, 2) la resistencia mecánica a flexión puede incrementarse hasta en un 79.5% y una disminución de hasta un 78% del desplazamiento por carga, es decir expansión por carga aplicada, 3) la permeabilidad al agua disminuye hasta en 400%, 4) mejora el rendimiento eléctrico y térmico, aumentando su resistividad y contribuye también a su estabilidad térmica, 5) y por último se puede reducir hasta en un 50% la utilización de cemento para lograr concretos con las mismas resistencias. Por lo que la investigación concluye que, la utilización de grafeno como adición al concreto sí mejora la resistencia mecánica a la compresión y flexión, aumenta su impermeabilidad, haciéndolo útil para elaboración de concreto utilizados en estructuras en zonas húmedas o inundables, esto viene relacionado con el aumento de su resistividad y estabilidad térmica, lo que previene la corrosión en el concreto armado, y como conclusión final, al disminuir la utilización de cemento, contribuye directamente a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Devi & Khan (2020), en su investigación publicada en el Journal of Building Engineering, buscaron determinar cuál es el efecto que ejerce el óxido de grafeno en el desempeño mecánico del concreto y su durabilidad. Para ello los investigadores prepararon 5 tipos de muestra de concreto, con una dosificación de 1:1,86:2,89 y una relación agua cemento de 0.45, con adición de óxido de grafeno (de 0% a 0.08%, en peso de cemento y un aumento de 0.02%), y así analizar su comportamiento en estado fresco (trabajabilidad) y en estado endurecido, características mecánicas (a compresión y tracción) y su permeabilidad, elaborando especímenes cúbicos de concreto de 0.10 x 0.10 x 0.10 m para ensayarlos a compresión y tracción, y especímenes cúbicos de 0.15 x 0.15 x 0.15 m para los ensayos de absorción superficial inicial, así como cilindros de 0.10 x 0.20 m, para el ensayo de sorptividad (velocidad de absorción capilar). Los periodos de curado fueron de 7, 28, 56 y 90 días. Luego de ensayar se tuvieron los siguientes resultados: 1) En estado fresco, el asentamiento disminuye considerablemente mientras se incrementa el porcentaje de grafeno en la mezcla, 2) la resistencia mecánica a la compresión aumenta hasta en un

49% con respecto al concreto tradicional, 3) la resistencia a la tracción aumenta a un máximo de 39%, 4) el porcentaje de absorción superficial inicial disminuye hasta en un 34%, 5) la sorptividad también disminuye con respecto al concreto convencional hasta en un 46%. Todos estos resultados se observaron en la mezcla de concreto y especímenes que incluían el mayor porcentaje de óxido de grafeno, es decir la dosificación de 0.08% en peso de cemento y curados a 90 días. Concluyen que, a mayor porcentaje de óxido de grafeno en la mezcla, la reacción del óxido de grafeno con la mezcla mejora no solo la resistencia mecánica a la compresión y tracción del concreto, creando una mejor cohesión de las moléculas del concreto, sino que a su vez mejora los poros gel presentes, disminuyendo la permeabilidad del concreto, aumentando así la durabilidad del concreto. La muestra con 0.08% es el índice que muestra mejores resultados, y la menor de 0.02% en peso de cemento, la que muestra las mínimas mejoras, y haciendo la comparativa costo-beneficio, la mezcla óptima es la que contiene 0.06%, ya que sus resultados no se alejan demasiado de los obtenidos con 0.08% de óxido de grafeno en peso de cemento.

Chu et al. (2020), el equipo en su investigación buscó determinar cuál es el efecto que produce la adición de óxido de grafeno en las propiedades mecánicas y durabilidad de un concreto de ultra alto desempeño (UHPC – Ultra High Performance Concrete por sus siglas en inglés) elaborado a partir de arena reciclada. Para lograr el objetivo, los investigadores prepararon 4 tipos de muestra de concreto, las cuales contiene Cemento Tipo II, ceniza volante, silica fume, agente expansivo (aditivo de dispersión), fibra de acero, agua, aditivo reductor de agua, óxido de grafeno (en proporciones de 0.025%, 0.050% y 0.075% en peso de cemento), y por último arena reciclada de desechos de construcción. Se elaboraron especímenes cúbicos de 0.10 x 0.10 x 0.10 m (compresión y tracción), y prismáticos de 0.10 x 0.10 x 0.40 m (flexión) y de 0.10 x 0.10 x 0.30 m (módulo elástico), los cuales se envolvieron en plástico y se desmoldaron después de 48 horas, para luego proceder a curarlos durante 28 días. De los ensayos respectivos se obtuvieron los siguientes resultados: 1) La porosidad de los especímenes se reduce entre 4.45% a 11.35%, 2) La resistencia mecánica a la compresión aumenta entre un 8.24% y 16.83%, 3) La resistencia a la tracción aumenta entre 15.63% y 29.54%, 4) La resistencia a la flexión

aumenta entre 11.26% y 26.62%, 5) También su módulo elástico incrementa entre 5.84% y 12.25%, todos estos resultados son comparados con respecto a la mezcla patrón, la cual no contiene óxido de grafeno, pero si los demás elementos. El equipo concluye entonces que la mezcla que optimiza mejor el diseño de concreto de ultra alto desempeño (UHPC) elaborado a partir de la arena reciclada, es el que contiene la adición de 0.050% de óxido de grafeno en peso de cemento, ya que otorga mayores incrementos de resistencia mecánica (compresión, tracción y flexión), además de disminuir su porosidad, es decir el concreto se vuelve menos permeable, y también que responde mejor ante ciclos de congelamiento y descongelamiento, lo que lo hace excelente para su uso en climas extremos.

Hinestroza & Urrego (2021), en su tesis, buscaron evaluar qué tan viable es el uso del óxido de grafeno como nanoaditivo para el concreto hidráulico, cuáles son las características que lo hacen ventajoso para su uso, y si es factible su empleo en obras de Colombia. Para ello, recolectan información, investigaciones, tesis, y demás estudios, para tener una visión actual del uso del óxido de grafeno adicionado a un concreto hidráulico. En esta investigación, los autores identifican que, si bien el óxido de grafeno se puede utilizar de manera viable como aditivo para el concreto ya que aumenta sus características mecánicas, influyendo en la disminución de la cantidad de acero de refuerzo utilizado y el control de microfisuras en el concreto, nos indican que se debe de analizar el costo-beneficio de este material innovador, debido a que un gramo de óxido de grafeno oscila entre los 200 y 300 dólares, esto debido a que en Sudamérica aún no encontramos un productor o comercializador que abarate los precios (tanto de producción como de transporte), ya que Estados Unidos y China acaparan tanto producción como uso del óxido de grafeno en los distintos tipos de industria, es por ello que el costo de elaboración de concreto con óxido de grafeno se eleva en 31.5 veces comparado con un concreto sin esta adición. Además, también concluyen que se necesitan más investigaciones con el grafeno como adición para tener una amplia base de datos que ayuden a tener un panorama claro de los beneficios, ya que las investigaciones encontradas aún son muy limitadas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Ccopa (2017), en su tesis de grado buscó estudiar el efecto que la adición de grafeno le otorga a un concreto de $f'c = 210 \text{ kg-f/cm}^2$ (21 Mpa), tanto en su resistencia mecánica a compresión como en su trabajabilidad en estado fresco, a más de 3800 m.s.n.m, incluyendo también la viabilidad de uso en base a su costo-beneficio. Entonces, elabora un diseño de mezcla por el método de Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, adicionando grafeno en tres porcentajes de relación al peso de cemento de 0.50%, 1% y 1.50%, (utilizando además para el concreto, cemento tipo IP), midiendo su asentamiento mediante el ensayo con el cono de Abrams, elaborando especímenes cilíndricos de 6"x 12", para luego ser curados por inmersión durante 7, 14 y 28 días, y finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión. En esta investigación, los resultados evidencian que, al agregar grafeno al concreto, su asentamiento se incrementa en un 22.70%, la resistencia mecánica a la compresión de los especímenes aumento hasta en 26% con respecto a un concreto tradicional, y para un tiempo de curado de 28 días, pero también se observa que las resistencias obtenidas, no varían demasiado entre los porcentajes de adición. Además, se puede indicar que el costo del concreto aumenta en un 47% al adicionar grafeno. Por lo que, se concluye que al adicionar grafeno a la mezcla de concreto, su efecto en cuanto a la trabajabilidad del concreto aumenta, la resistencia a la compresión de igual manera, y el porcentaje adecuado para su utilización es el de 0.50% en peso de cemento, esto debido a que si bien el aumentar la cantidad de grafeno en la mezcla puede incrementar trabajabilidad y resistencia a la compresión, en el apartado de costo-beneficio, un concreto con grafeno puede llegar a elevar su costo entre un 47% a un 149%, además los resultados avalan que no existe un aumento significativo entre proporciones de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión, por lo que no es necesario el adicionar grafeno más allá de un 0.50% para lograr los mismos resultados.

Bartra (2019), al igual que en la investigación antes mencionada, buscó determinar la influencia que ejerce el grafeno como aditivo nanotecnológico en el concreto, en tres puntos importantes de evaluación, observar los cambios de la resistencia mecánica a la compresión, trabajabilidad del concreto, y

comparación de costos según el porcentaje de grafeno en la mezcla. Entonces, se elabora un diseño de mezcla por el método del ACI (American Concrete Institute), adicionando grafeno en tres porcentajes de relación al peso de cemento de 1%, 1.50% y 2%, (utilizando además para su elaboración cemento tipo Ico), midiendo su asentamiento mediante el ensayo con el cono de Abrams, elaborando 36 especímenes cilíndricos de 6"x 12", para luego ser curados por inmersión durante 7, 14 y 28 días, y finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión. Los resultados pueden resumirse en que, al agregar grafeno al concreto, su asentamiento se incrementa hasta en un 2.80%, la resistencia mecánica a la compresión de los especímenes aumento en un rango de 10.79% a 17.35% con respecto a un concreto tradicional. Además, se puede indicar que el costo del concreto en un rango del 43% al 87% al adicionar grafeno. Por lo que, se concluye que al adicionar grafeno a la mezcla de concreto, su efecto en cuanto a la trabajabilidad del concreto aumenta, la resistencia a la compresión de igual manera, y el porcentaje que el autor considera adecuado para su utilización es el de 1% en peso de cemento, esto debido a que en el caso de aumentar la cantidad de grafeno en la mezcla mejora la trabajabilidad y resistencia a la compresión, en el cuanto al costo, el concreto con adición de grafeno eleva en más del 40% su costo, y los según los resultados, entre la mezcla con 1% y 1.50%, la mejora no sustenta el incremento de grafeno, haciendo que no sea necesario el adicionar grafeno más allá de un 1% para lograr los mismos resultados, y por ende concluye que la proporción óptima es la que otorga el 1% de grafeno en peso de cemento.

Peñares y Pahuancho (2019), en su tesis buscaron analizar el efecto de la incorporación de grafeno en la resistencia mecánica a compresión de un diseño de concreto y su trabajabilidad en estado fresco, para esto produjeron un concreto de $f'c = 245 \text{ kg-f/cm}^2$ (24.5 Mpa), diseñado con método ACI y utilizando cemento tipo I, adicionando grafeno en cuatro porcentajes en relación al peso de cemento (0.03%, 0.05%, 0.10% y 0.15%), para la medición del asentamiento se utilizó el método mediante cono de Abrams. Con la mezcla obtenida se elaboraron especímenes cilíndricos de 6"x 12", para luego ser curados por inmersión durante 7, 14 y 28 días, y finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión. En esta tesis el autor, encuentra que, el asentamiento de la mezcla

elaborada con grafeno aumenta hasta en un 35%, pasando de un 4 ¼” a 5 ¾”, la resistencia mecánica a la compresión de los especímenes aumento en promedio entre 12.20% a 19.10%. Concluyendo que, adicionando grafeno a una mezcla de concreto $f'c = 245 \text{ kg-f/cm}^2$ (24.5 Mpa), produce un incremento en la resistencia mecánica a la compresión, logrando también que la trabajabilidad de la mezcla sea mayor. La conclusión final fue que el diseño óptimo de la mezcla es que otorga el porcentaje de 0.10%, ya que con el porcentaje de 0.15%, el aumento de la resistencia a compresión tiende a decaer con el tiempo.

Alvarado & Roque (2020), buscaron determinar la influencia de la adición de polvo de grafito (forma alotrópica del carbono, entendiéndose como átomos de carbono distribuidos en planos paralelos) en la resistencia mecánica a compresión y flexión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg-f/cm}^2$ (21 Mpa), para lo cual diseñaron la mezcla con el método ACI y utilizando cemento tipo I, adicionando grafito en tres porcentajes en relación al peso de cemento (De 2%, 2.50% y 3%), para obtener los datos del asentamiento se utilizó el cono de Abrams. Con la mezcla obtenida se elaboraron especímenes cilíndricos de 6”x 12” y especímenes prismáticos (vigas) de 6” x 6” x 20”, para luego ser curados por inmersión durante 7, 14 y 28 días, y finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión y flexión (en su tercio central). Los ensayos realizados, nos muestran que a mayor concentración de polvo de grafito en la mezcla está va disminuyendo, y pasa de 8” (mezcla patrón) a 3 ½” (3% grafito), la resistencia mecánica a la compresión aumento en promedio entre 4.65% a 7.85% y la resistencia a flexión entre 2.32% a 18.60%. Por lo que, en efecto, adicionando polvo de grafito a una mezcla de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, influye de manera significativa y produce un incremento en la resistencia mecánica a la compresión y flexión, pero sacrificando la trabajabilidad de la mezcla, ya que su asentamiento disminuye de manera considerable.

Choque (2021), en su tesis doctoral buscó optimizar las propiedades mecánicas de un concreto $f'c = 210 \text{ kg-f/cm}^2$ (21 Mpa) adicionando grafeno. Para llevar a cabo los ensayos, en primer lugar, realiza un diseño de mezcla con el método ACI y utilizando cemento tipo I, adicionando grafeno en cuatro porcentajes en relación al peso de cemento (De 0.10% a 0.40%, con un aumento de 0.10%). Con la mezcla obtenida se preparan especímenes cilíndricos de 6”x

12" y especímenes prismáticos (vigas) de 6" x 6" x 20", para luego ser curados por inmersión durante 7, 14 y 28 días, y finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión, tracción y flexión (carga doble en su tercio central). De los ensayos realizados, los resultados obtenidos muestran que a mayor concentración de grafeno en la mezcla, la resistencia mecánica a la compresión aumenta en promedio entre 3.80% a 34%, la resistencia a tracción también aumenta en un rango de 1.22% a 12.90%, y la resistencia a flexión crece entre 0.86% a 12.83%. Por ende, agregando grafeno a la mezcla de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, optimiza su resistencia mecánica a la compresión, tracción y flexión. Es así que, la proporción que otorga la mejor optimización a sus propiedades mecánicas, es la que se trabajó con 0.40% de grafeno en peso de cemento, pues es la que brinda un mayor rendimiento mecánico, con respecto a las demás.

Vásquez (2022), evaluó la incorporación del óxido de grafeno, al cemento Portland Tipo I, y determinar si su adición mejora la propiedad mecánica a compresión del cemento. En esta oportunidad el investigador se basa en el acápite 10.1 de la norma ASTM C109 (dosificaciones), para elaborar un mortero (cemento portland, arena y agua) y relación agua-cemento 0.485, incluyendo un aditivo superplastificante (en proporciones de 0.18%, 0.24% y 0.30% en peso de cemento) y óxido de grafeno (en proporciones de 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.10% y 0.20% también en peso de cemento), los morteros fueron curados durante 24 horas, 3, 7 y 28 días, para finalmente ser sometidos a esfuerzos de compresión. Los resultados de los ensayos a compresión, evidencian que a mayor cantidad de óxido de grafeno en el mortero, la mezcla que presenta mejor desempeño es la de 0.10% de óxido de grafeno, ya que puede alcanzar hasta un incremento de su resistencia mecánica de hasta 12.60% a los 28 días de curado (resistencia final). Con los principales resultados obtenidos se concluye que, el uso de aditivo superplastificante, no influye en que la dispersión de las partículas de óxido de grafeno en el mortero, aumente o mejore la resistencia a compresión del mismo, incluso la utilización del conjunto de aditivo superplastificante más óxido de grafeno, puede reducir la resistencia a la compresión, por lo que se concluye que solo el porcentaje de óxido de grafeno a 0.10% es el que presenta mejores resultados, por lo que no es necesario adicionarle el aditivo dispersante. Además, se puede concluir que la adición de

óxido de grafeno en el mortero, influye en un aumento de la resistencia a la compresión a edades tempranas, para ser específicos entre los 3 y 7 días.

Gutiérrez et al (2021), comparan y analizan un compilado de resultados sobre la investigación del grafeno y su potencial dentro de la industria de la construcción, a partir de una evaluación de sus propiedades, sus ventajas, accesibilidad/capacidad de industrializarse y precio, concluyendo que el grafeno es un material innovador dentro de la industria de la construcción, debido a las características que puede brindar al concreto, entre la que principalmente destaca el incremento en su resistencia mecánica, que a largo plazo abarata costos de mantenimiento.

2.2. Marco Teórico Conceptual

2.2.1. El Concreto

El material complejo formado por la mezcla proporcionada de cemento portland, agregados (fino y grueso), agua y aditivos, que de manera inicial es una masa plástica y moldeable, según la cantidad de agua presente, lo que se conoce como relación agua/cemento, relación que será de suma importancia para obtener una alta rigidez con una resistencia mecánica frente a estímulos de carga, logrando que sea el material universal para la construcción civil. (Surahyo, 2019).

Entonces se tiene un producto compuesto, el cual vierte en su concepción final las propiedades que le brinda cada elemento, por ende, sus características se tornan complejas, a fin de mejorar su resistencia mecánica (Surahyo, 2019).

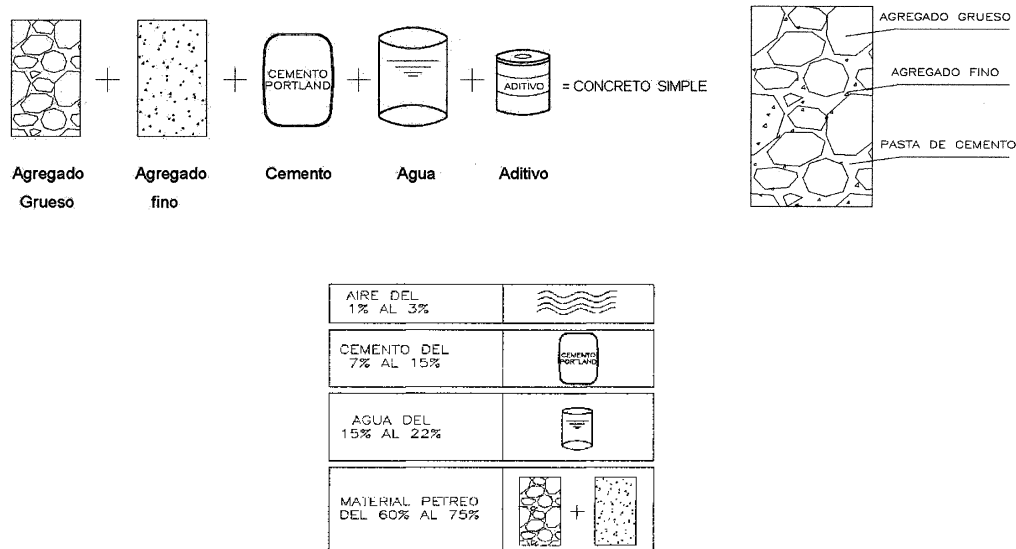


Figura 1: Composición del concreto.

Fuente: (De la Cruz & Quispe, 2014).

2.2.2. El cemento Portland

Producto final de la pulverización del clinker Portland con la adición de sulfato de calcio. Se puede adicionar otros productos los cuales deben ser pulverizados en conjunto con el Clinker con el fin de que esta adición no afecte al cemento (Harmsen, 2019)

El cemento Portland está compuesto en su núcleo por materiales calcáreos (caliza, alúmina y sílice) obtenidos de la arcilla o pizarra; también se utiliza marga (calcáreo-arcilloso), por yeso y últimamente por la adición de puzolanas, que puede ser en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado, o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes). (Abanto, 2017)

Cemento Portland = Clinker Portland + Yeso.

La norma ASTM C 150 establece cinco diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades dentro de la construcción civil, para la presente investigación se utilizó el cemento portland Tipo I, o también denominado Normal, que tiene un uso general en el sector construcción, y se utiliza en obras donde no son requeridos otros tipos de cemento.

En Perú sólo se fabrican los Tipos I, II, y V. El peso específico del cemento corresponde al material al estado compacto. Su valor suele variar, para

los cementos portland normales, entre 3.0 y 3.2. Las Normas Norteamericanas consideran un valor promedio de 3.15 y las Normas Alemanas e inglesas un valor promedio de 3.12. (Lezama, 2016)

2.2.3. Agua de mezcla y agua de curado

El agua utilizada en la mezcla y curado del concreto debe cumplir con los requisitos de las normas establecidas y de preferencia ser potable, recomendaciones indicadas también en la Norma Técnica E.060 (Lezama, 2016)

El agua de mezcla debe hidratar la mezcla y ayudar a la trabajabilidad de la mezcla (relación agua/cemento). De toda el agua que se emplea en la preparación del concreto, parte hidrata el cemento y lo restante se evapora con el tiempo; al ocupar un espacio en la mezcla, cuando se esfuma deja vacíos (los cuales deben ser controlados al momento del diseño), restando resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. El porcentaje aproximado de agua que el cemento requiere para hidratarse se encuentra entre el 25 y 30% en masa del cemento, pero teniendo en cuenta que la mezcla debe ser trabajable, se puede aumentar hasta en un 40%, para lo cual el diseño de mezcla contempla que se utilice la menor relación agua/cemento, pero que permita la mejor trabajabilidad, es decir sin sacrificar a posterior la resistencia mecánica (Surahyo, 2019).

El agua para curado es la cantidad de agua que se le proporciona al concreto cuando este ya pasa a un estado endurecido, a fin de que los elementos colados o vaciados, puedan lograr la máxima resistencia mecánica a la que fueron diseñados. El curado del concreto es un proceso importante ya que una vez vaciados los elementos estructurales, estos tienden a perder agua, por el alto calor de hidratación de la mezcla, altas temperaturas en las zonas de construcción, estructuras expuestas al sol, zonas secas con importantes absorciones de agua, vientos que favorecen a la evaporación, superficial e interna del agua. En la actualidad la tecnología nos brinda distintas alternativas con respecto al curado periódico con agua, como son los aditivos curadores, los cuales se aplican mediante mochilas rociadoras, quedando una película fina del aditivo impregnada en el concreto, la cual gracias a sus propiedades micro

tecnológicas sella los poros superficiales presentes en este, evitando la evaporación del agua interna, y favoreciendo que sea esta misma agua la que cure el concreto (Harmsen, 2019).

2.2.4. Agregados para el concreto

Los agregados (áridos) son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman la estructura compleja conocida como concreto. Como agregados para la mezcla de concreto se pueden considerar los materiales que, teniendo una elevada resistencia, no afecten de manera negativa las características y propiedades del concreto, y puedan garantizar una óptima adherencia con la pasta endurecida del cemento. (Abanto, 2017)

Y con respecto a inertes se refiere a que no reaccionan con los demás componentes, especialmente con el cemento; aunque, existen algunos agregados que adicionan características a niveles microscópicos y que ayudan a incrementar la resistencia mecánica, un ejemplo son las escorias de alto horno desechadas de las siderúrgicas, sílice activa, micro sílice, nano sílice, etc. (Abanto, 2017).

2.2.5. Clasificación de los agregados

De acuerdo con la clasificación unificada, los suelos se dividen en suelos finos ($<$ a 0,074 mm o $74\mu\text{m}$ -tamiz No. 200) y suelos gruesos (\geq a 0,074 mm o $74\mu\text{m}$ -tamiz No. 200); para la elaboración de mezclas de concreto se emplean los suelos gruesos y se limita el contenido de suelo fino (partículas finas). (Harmsen, 2019)

La fracción fina de los suelos gruesos, cuyas partículas tienen un tamaño menor a 4,76 mm (tamiz No. 4) y no menor de 0,074 mm o $74\mu\text{m}$ (tamiz No. 200), es lo que comúnmente se denomina Agregado Fino; y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un tamaño superior a 4,76 mm (tamiz No. 4), es lo que normalmente se llama Agregado Grueso. (Surahyo, 2019)

2.2.6. Funciones del agregado

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- Proporcionar una correcta dosificación a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen elaborado, por ende, disminuyendo el costo de fabricación del concreto. (Abanto, 2017)
- Proporcionar una combinación de partículas que puedan proteger del uso mecánico al que fue diseñado el concreto, para que las estructuras sean duraderas, en el lugar que se emplacen y puedan otorgar de igual manera una protección frente al clima. (Abanto, 2017)
- Reducir la expansión o contracción que se produce en el fraguado y endurecimiento del concreto, en el humedecimiento y secado, y/o de calentamiento de la pasta. (Abanto, 2017)

2.2.7. Diseño de mezclas de concreto

Entonces en este punto radica la importancia del control de incorporación de agua a la mezcla durante su elaboración o colocación ya que al alterar la condición inicial de esta (elevar la relación agua/cemento) para obtener un mejor rendimiento al momento del traslado y el acabado, puede afectar considerablemente el desempeño del mismo consiguiendo así menores resistencias mecánicas o desgastes iniciales de los elementos moldeados (Abanto, 2017).

Por ello el diseño de mezcla debe responder una serie de exigencias en su estado fresco y endurecido. Siendo estas las que deben adecuarse a una dosificación óptima, como por ejemplo en estado fresco, la manejabilidad, la cual responde a la consistencia y peso de la mezcla, y en estado endurecido resistencia mecánica máxima y durabilidad, y en conjunto debe ser una mezcla económica sin sacrificar los puntos anteriores (Abanto, 2017).

La certificación del cumplimiento de los requisitos para la resistencia de diseño especificada se basará en los resultados de ensayo de probetas cilíndricas estándar de 15 x 30 cm; preparadas y ensayadas de acuerdo a las Normas ASTM C 31 y C 39 o NTP 339.033 o 339.034. (Abanto, 2017)

2.2.8. Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión es la característica mecánica más importante del concreto, esta se mide por medio del ensayo de cilindros la cual está especificada en las NTP 339.033 o 339.034. Según esto, el ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilindros de concreto, describe el ensayo de la siguiente forma:

Consiste en aplicar una carga axial en compresión a los especímenes cilíndricos a una velocidad que esté dentro del rango especificado antes que ocurra la falla. La resistencia mecánica a la compresión del espécimen se obtiene como el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra (Abanto, 2017)

$$f'c = \frac{\text{Carga máxima alcanzada durante el ensayo}}{\text{sección transversal del área del espécimen}} \dots(1)$$

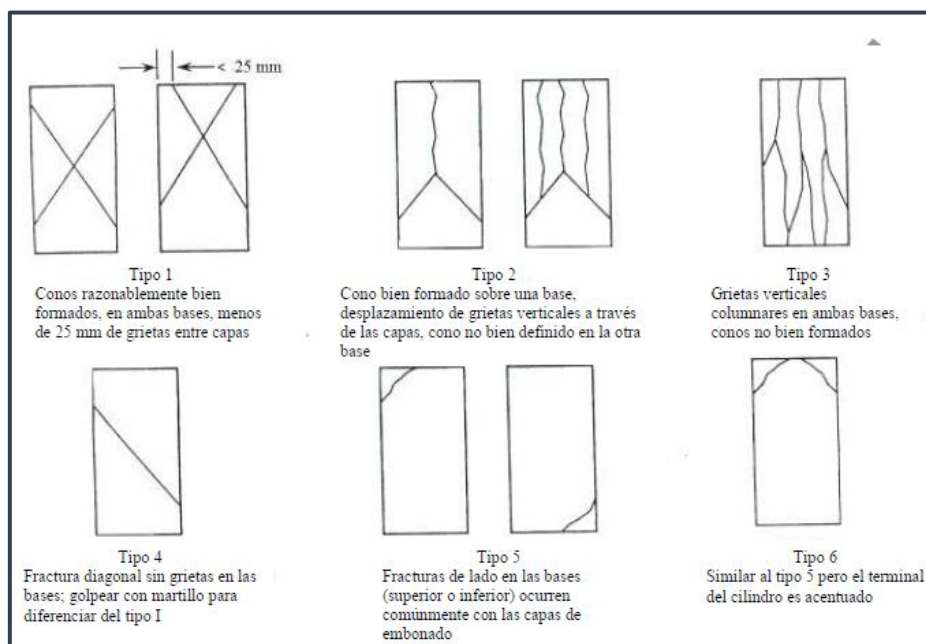


Figura 2: Tipo de fallas.

Fuente: NTP 339.034

f'_c : Resistencia en compresión especificada del concreto, se expresa comúnmente en Kg/cm^2 .

f'_{cr} : Resistencia en compresión promedio requerida, utilizada para la selección de las proporciones de los materiales que intervienen en la unidad cubica de concreto, se expresa comúnmente en Kg/cm^2 .

2.2.9. Resistencia a la flexión del concreto

La resistencia mecánica a la flexión se aplica en los paños de losas para carreteras, para estacionamientos, vías urbanas, pistas de aeropuertos, entre otras, lo que se conoce como pavimento rígido. Una de las formas para determinar la resistencia a la flexión del concreto es por medio de vigas prismáticas de 15 cm x 15 cm de sección y 50 cm de largo (6" x 6" x 20"), esta se mide por medio del ensayo de especímenes prismáticos (vigas) el cual está especificado en la NTP 339.079, que consiste en aplicar una carga a la viga prismática en el centro del tramo y una velocidad entre 0.9 MPa/min y 1.2 MPa/min (Lezama, 2016)

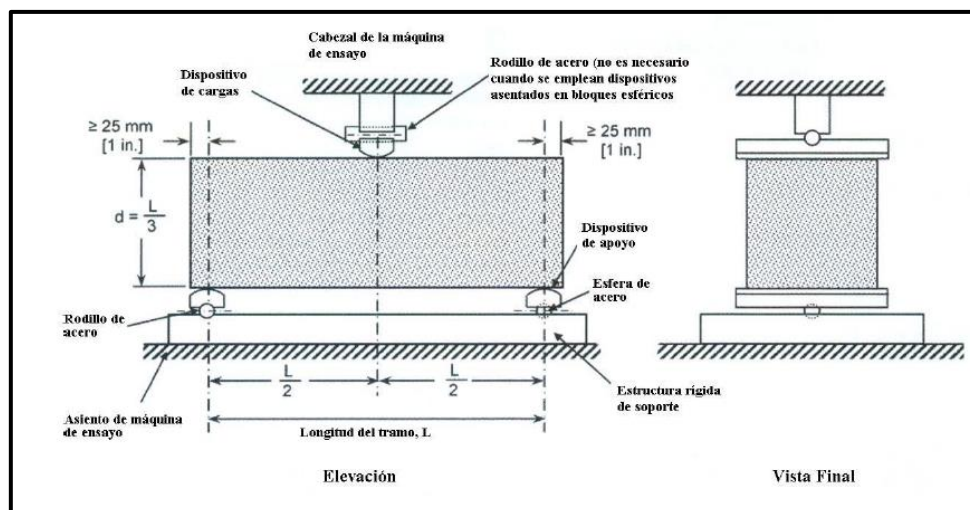


Figura 3: Esquema método de carga en el punto medio.

Fuente: NTP 339.079

Módulo de rotura es el siguiente:

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2} \dots (2)$$

Donde:

Mr : Módulo de rotura en MPa.

P : Carga máxima de rotura indicada en la máquina de ensayo, en N.

L : Longitud del tramo, en mm.

b :Ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

h : Es la altura promedio de la viga en la sección de falla.

2.2.10. Pavimento

Los pavimentos se clasifican históricamente en dos categorías: rígidos y flexibles. Los pavimentos rígidos son aquellos que presentan una losa de concreto hidráulico y pueden o no tener capa sub-base entre la losa y subrasante. (Ver Anexo III – Figura 80). Los pavimentos flexibles son aquellos que presentan una carpeta asfáltica construida sobre unas capas (base y sub-base), apoyándose todo este conjunto sobre la subrasante (Ver Anexo III – Figura 81). (Recuenco, 2017).

A parte de los tipos de pavimentos ya mencionados existe actualmente el llamado pavimento compuesto y es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos "flexibles" y pavimentos "rígidos", normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. También se lo conoce como semirígido o semiflexible. (Ver Anexo III – Figura 82). (Recuenco, 2017)

2.2.11. Nanotecnología: Contexto Mundial, Latinoamericano y Perú

Situándonos en un contexto pre-pandemia, la nanociencia y nanotecnología a nivel mundial tenían un desarrollo acelerado, y esto se debía a la gran variedad de nuevas propiedades de la materia a la escala nanométrica que se habían descubierto y la facilidad para utilizarlos en diferentes dispositivos que ayudan a mejorar no solo la vida cotidiana de las personas, sino también para su uso y aplicación específica en los distintos campos de la ciencia y tecnología. Por esa razón los países siguen invirtiendo una gran cantidad de recursos para hacer uso de dicha tecnología, y a su vez de optimizarla y potenciarla. La distribución de la inversión que se realiza en Nanotecnología viene dada de la siguiente manera, Estados Unidos (35%) y Asia (35%) son los principales inversionistas, seguidos por Europa (28%) que no se aleja demasiado de la inversión realizada, y por último podríamos indicar Latinoamérica y demás países (2%), por lo cual, dentro de nuestro contexto y región, aún se espera que esa inversión pueda incrementarse en los próximos años. Se tenía la visión de que toda esta inversión rendiría frutos luego del año 2015, y actualmente podemos observar los cambios e impulso a la economía y desarrollo, que ha generado la utilización de la nanotecnología (Gutiérrez, 2021).

Por ellos, situándonos en Latinoamérica, la nanotecnología, cumple un papel fundamental, dadas sus ventajas y potencial de desarrollo, siendo la base y fuente del conocimiento e investigación, las universidades, ya que países como Brasil, México y Argentina, son los principales impulsores de investigaciones y artículos publicados que fomentan el uso de la nanotecnología; siendo así que nuestro país, hace algunos años vienen existiendo grupos que se dedican a la investigación de nanociencias, con el apoyo de cooperación internacional.

Siendo estos grupos pertenecientes a universidades de las siguientes ciudades: Lima, y en menor medida Arequipa y Trujillo (Gutiérrez, 2021).

Además del impulso de las universidades para poder sumar esfuerzos a las iniciativas de investigación y difusión de la nanotecnología, hay que indicar que también existen dos iniciativas importantes, las cuales son: *Spectra* (<http://www.spectra Peru.org>), "una comunidad de investigadores que tiene como objetivo mejorar las capacidades de cada uno de sus miembros para el beneficio de la sociedad, particularmente la sociedad latinoamericana y andina, en contacto y cooperación científica permanente con países del primer mundo", y la *Red de Nanotecnología en el Perú* (<http://www.nanotecnologia.com.pe/>), "integrada por investigadores del ámbito académico, instituciones públicas, privadas y ONG, la que promueve la investigación interinstitucional y multidisciplinaria de sus miembros, agrupa a especialistas en diversas áreas con el propósito de absolver consultas con fundamento técnico científico y difundir las actividades relacionadas con la nanotecnología en el Perú y el mundo". Es importante mencionar también la iniciativa para la creación de un Centro de Materiales, que esté al servicio de la comunidad científica de todo el Perú (UNMSM, 2016).

2.2.12. Grafeno

En el siglo XX, Pierls y Landau determinaron desde un punto de vista teórico que no podía existir un orden cristalino de largo alcance en cristales bidimensionales porque eran termodinámicamente inestables. Con el paso del tiempo y a finales del mismo siglo, distintos grupos de investigación intentaron crear capas individuales de grafito rompiendo mecánicamente los cristales tridimensionales, pero el avance más importante acerca de este tema se dio en 2004, cuando André Geim y Konstantin Novoselov lograron obtener una sola capa de grafito y medir sus propiedades electrónicas, recibiendo por ello el premio Nobel en el 2010. Este logro abrió las puertas al estudio de las propiedades de esta forma alotrópica bidimensional, ahora conocida como grafeno (Graphenano Smart materials, 2018).

El carbono es un elemento que presenta alotropía, es decir aparece en más de una forma en el mismo estado físico, además presenta diferentes propiedades físico-químicas dependiendo de la distribución y agrupación de los átomos que constituyen sus moléculas (Ver Anexo IV)

2.2.12.1. Propiedades del Grafeno

Las extraordinarias características del grafeno se derivan del espesor de un solo átomo de carbono que tiene, por lo que se han dirigido los esfuerzos de la investigación científica para poder comprender estas características de entre las que se pueden destacar (Hernández & Quiroz, 2015)

- Es casi completamente transparente y tan denso, que ni siquiera el helio lo atraviesa.
- Es más duro que el diamante y 200 veces más resistente que el acero.
- Es igual de ligero y más flexible que las fibras de carbono.
- Es capaz de soportar la radiación ionizante.
- Prácticamente no presenta efecto Joule (fenómeno irreversible por el cual, si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo).
- Tiene alta movilidad de portadores, así como un bajo nivel de ruido, lo que permite que sea utilizado como canal en transistores de efecto de campo (Field-Effect Transistor o FET, en inglés)
- Tiene un gap de energía nulo, lo que hace que ese material se comporte como un metal y semiconductor.
- Puede reaccionar químicamente con otras sustancias para formar compuestos con diferentes propiedades.

2.2.12.2. Propiedad mecánica del Grafeno

Existen básicamente tres esfuerzos o cargas a los que un material puede ser sometido y son tracción, compresión y corte. Todos ellos caracterizan de manera importante a un material, sin embargo, es el ensayo de tensión el que más información proporciona. De acuerdo a los estudios realizados, el grafeno exhibe un módulo de Young elástico de 1 TPa , lo que lo revela como un material altamente rígido, es decir, admite tensiones muy elevadas antes de romperse y sin embargo simultáneamente presenta elevada flexibilidad que se evidencia en la formación de pliegues y dobleces en sus hojas (Nanographene, 2019).

2.2.13. Nanotecnología en el Concreto

Si bien es cierto la nanotecnología viene alcanzando importantes avances en importantes campos del desarrollo humano, como electrónica, medicina, automovilismo, etc. La implementación de nanotecnología en el mejoramiento de los materiales también será una ayuda en cuanto a la disminución de emisión de gases, aumentará construcciones verdes importante en esta época para reducir la contaminación ambiental. En la actualidad y en un contexto en el cual la pandemia del SARS-COVID 19 golpeo duramente la economía y el avance en infraestructura de países similares al nuestro, se tiene entonces que tomar en cuenta las distintas investigaciones acerca de la nanotecnología de materiales con el propósito de incorporarlas a las edificaciones, como sensores, materiales decorativos, y acero y concreto que se le viene incorporando agentes nanométricos que mejoran sus propiedades. Actualmente se vienen realizando muchos estudios con respecto al sector de la construcción donde la prioridad es buscar mejorar las capacidades de concretos, modificando su estructura molecular, creando mejores interfaces en el material cementante, esto con el fin de modificar su reacción ante diferentes estímulos. Estos avances se los debemos a muchos profesionales que vienen dando a conocer los resultados de sus investigaciones y retan a mejorar procedimientos y utilización de las nuevas nanotecnologías. Hacer modificaciones a nivel nanométrico es posible en el concreto incorporando nanomateriales para poder controlar su comportamiento y así mejorar sus propiedades o agregar propiedades nuevas. La incorporación

de la nanotecnología al cemento, agregados o agua de mezcla, independientemente, nos puede otorgar concretos de alta resistencia, baja resistividad eléctrica, concretos con capacidad de autolimpieza, capacidad hasta incluso de poder generar auto reparaciones de micro fisuras (mediante bacterias), estas y muchas más propiedades que pueden mejorarse o incorporarse y que lograrían que el diseño sea mucho más eficiente (Navarro y Forero, 2017).

2.2.14. Adición de grafeno en el Concreto

El grafeno al ser estructuras como grandes láminas, y la materia prima de diferentes alótropos del carbono, al ser mezclados en el concreto son capaces de aumentar sus propiedades mecánicas. El grafeno genera mayor resistencia y durabilidad y también nos permiten generar un material de mejores características. Agregando pequeñas cantidades de grafeno, equivalentes del 0.10% a 1.50% del peso del cemento, las propiedades mecánicas de ese material se incrementan de 5% a 15% (Nanographene, 2019), generando mayor resistencia a la tracción y compresión, y produciendo una construcción autógena la cual es capaz de disminuir fisuras notablemente que normalmente se generan por los poros que se producen en el concreto, ya que genera capas de impermeabilización porque el enlace atómico del grafeno es primordial para poder sellar los espacios vacíos que se generan en el concreto y así luchar contra las micro fisuras en su interior. En la elaboración del concreto con grafeno se presentan inconvenientes, tales como que difieren su tamaño, su dispersión en la mezcla con los demás materiales que componen el concreto, y lograr una homogenización del grafeno en la mezcla. El resultado con los materiales compuestos de carbono es de esperarse que al usar grafeno se produzca un mejor desempeño del concreto, por lo cual se vuelve muy importante el conocimiento de la estructura interna y funcionamiento mecánico del concreto (Navarro y Forero, 2017).

2.2.14.1. Implementación del grafeno como aditivo en el concreto

La implementación del grafeno como aditivo en el concreto, se basa en probar que mejora el diseño del concreto, específicamente sus capacidades a flexión y compresión, al estar trabajando a escalas nanométricas estamos incursionando en lo más profundo de la mezcla de concreto con lo cual se pretende lograr mejorar cada una de las partículas de concreto funcionando monolíticamente, el grafeno por sus características de alta resistencia, su módulo de elasticidad mayor que el del acero, y su capacidad de soportar su propio peso cientos de veces, generando así una mayor resistencia y una posible ocupación de espacios vacíos en el concreto durante su elaboración y procesos de fraguado, debido a que el grafeno es mucho más delgado que la fibra de carbono y mucho más resistente a diferentes cargas mecánicas (Dimov et al, 2018).

2.2.15. Reducción de muestras obtenidas de campo a tamaño de ensayo

Se necesitan para reducir las muestras que son obtenidas en el campo a muestras más pequeñas que se necesitaran en los ensayos, esto con la finalidad de describir el material y medir la calidad de este (ASTM C 702). Las muestras grandes tienden a ser más representativas de la muestra total, por eso cuando se reduce las muestras a más pequeñas se hace con el propósito de que no dejen de ser representativas como la muestra grande y por ende de la muestra total suministrada. Se debe tener un seguimiento cuidadoso, de no hacerlo se obtendrán muestras no representativas para su uso en ensayos posteriores (Abanto, 2017).

Según norma encontramos tres métodos para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado a ser empleado en las pruebas, utilizando técnicas que están encaminadas a minimizar las variaciones en características entre muestras seleccionadas para ensayo y la muestra total (Abanto, 2017).

2.2.16. Granulometría

2.2.16.1. Granulometría del Agregado Grueso

Los requisitos de granulometría (gradación) del agregado grueso de las normas ASTM C 33 (AASHTO M 80) y NTP 400.037 nos permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos. La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que se afecte considerablemente las cantidades de cemento y agua en la mezcla, si las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad. Las proporciones de la mezcla se deben cambiar para producir mejor trabajabilidad en el concreto si ocurrieran grandes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de predecir, frecuentemente es más económico mantener la uniformidad de la producción y el manejo del agregado grueso, para que se reduzcan las variaciones de la granulometría. El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Entonces se deduce que se requiere más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor en comparación con agregados de tamaño máximo mayor, todo esto gracias al aumento del área superficial total del agregado (Surahyo, 2019)

2.2.16.2. Granulometría del Agregado Fino

Los requisitos de las normas ASTM C 33 (AASHTO M6/M80) o NTP 400.037 permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones, a veces, son más restrictivas. La granulometría para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso (Harmsen, 2019). En mezclas más pobres, o cuando se usan agregados gruesos de pequeñas dimensiones, es conveniente, para que se logre una buena trabajabilidad, que la

granulometría se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada tamiz. En general, si se mantiene constante la relación agua-cemento y se elige correctamente la relación agregado fino-agregado grueso, se puede usar un amplio rango de granulometrías, sin efectos considerables sobre la resistencia. Sin embargo, algunas veces, se logrará la mayor economía con el ajuste de la mezcla de concreto para que se adapte a la granulometría de los agregados locales (Surahyo, 2019)

2.2.16.3. Análisis Granulométrico de los Agregados

El análisis granulométrico de los agregados es un método utilizado para determinar la composición o distribución por los tamaños de las partículas de agregado fino y grueso mediante el uso de tamices (tamizado). Este análisis por tamices para la determinación de la granulometría de los agregados fino y grueso, se realizó de acuerdo a la norma ASTM C 136 ó NTP 400.011, 400.012 (Abanto, 2017).

2.2.17. Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal

El tamaño máximo del agregado grueso se determina a partir de un análisis por tamices y generalmente, se acepta que es el que corresponde al tamiz inmediatamente superior a aquel en el cual queda 15% o más del agregado grueso tamizado de acuerdo a la NTP 400.37.

De acuerdo a la Norma NTP 400.037 el tamaño máximo nominal es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido (Abanto, 2017).

2.2.18. Módulo de fineza

El módulo de fineza o finura, también llamado modulo granulométrico, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finuras, además se puede definir como el

indicador del grosor que predomina en el conjunto de partículas de un agregado. También puede considerarse como un tamaño promedio ponderado, pero que no representa la distribución de las partículas, sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el término de Módulo de Fineza. Cambios significativos en la granulometría tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del concreto, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del concreto, en otras palabras, mientras mayor sea el módulo de fineza la demanda de agua por área superficial será menor (Abanto, 2017)

El módulo de fineza usualmente se determina para el agregado fino, pero el conocimiento del módulo de fineza del agregado grueso puede ser necesario para la aplicación de algunos métodos de proporcionamiento de mezclas. El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50; y N° 100, divididas entre 100. (Abanto, 2017)

Según la norma ASTM C 33 para el agregado fino, que el agregado no tenga más del 45% retenido en dos mallas consecutivas, que el módulo de fineza no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1, ni varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente de abastecimiento del agregado. Los valores de módulo de finura entre 2.3 y 2.8 son para concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación, y los valores entre 2.8 y 3.1 son ideales para obtener concretos de alta resistencia (Surahyo, 2019).

2.2.19. Peso Específico y Absorción

- **Peso Específico**

El peso específico es la relación entre el peso y el volumen del material sólido, o como la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa de igual volumen de agua destilada, libre de gas, a

una temperatura especificada. El término correcto es Densidad (NTP 400.021 – Agregado Grueso; 400.022 – Agregado Fino). El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles. (Abanto, 2017)

- **Peso Específico Aparente**

Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del material, de manera impermeable, a la masa de aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada libre de gas, a una temperatura especificada (Surahyo, 2019).

Para el agregado fino tenemos:

$$Pea = \frac{W_o}{(V-V_a)-(500-W_o)} \dots (8)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra seca en la mufla, en gramos.

V_a : Peso en gramos o volumen en centímetros cúbicos del agua añadida al frasco.

V : Volumen del frasco en centímetros cúbicos.

Para el agregado grueso tenemos:

$$Pea = \frac{A}{A-C} \dots (9)$$

Donde:

A : Peso en el aire de la muestra seca en el horno.

C : Peso en el agua de la muestra saturada.

- **Peso Específico de Masa**

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario del material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material) a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada, libre de gas y a una temperatura especificada (Surahyo, 2019).

Para el agregado fino tenemos:

$$Pe = \frac{W_o}{(V-V_a)} \dots (10)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra seca en la mufla, en gramos

V_a : Peso en gramos o volumen en centímetros cúbicos del agua añadida al frasco.

V : Volumen del frasco en centímetros cúbicos.

Para el agregado grueso tenemos:

$$Pe = \frac{A}{B-C} \dots (11)$$

Donde:

A : Peso en el aire de la muestra seca en el horno

B : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca

C : Peso en el agua de la muestra saturada

- **Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca**

Tiene la misma definición que el Peso Específico de Masa, pero en este caso la masa incluye el agua en los poros permeables.

El peso específico que más se utiliza, por su utiliza, por su fácil determinación para calcular el rendimiento del concreto o la cantidad necesaria de agregado para un volumen dado de concreto; es aquel que está referido a la condición de saturado con superficie seca del agregado (Surahyo, 2019).

Para el agregado fino tenemos:

$$P_{esss} = \frac{500}{(V-V_a)} \dots (12)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra seca en la mufla, en gramos

V_a : Peso en gramos o volumen en centímetros cúbicos del agua añadida al frasco.

V : Volumen del frasco en centímetros cúbicos.

Para el agregado grueso tenemos:

$$P_{esss} = \frac{B}{B-C} \dots (13)$$

Donde:

B : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca

C : Peso en el agua de la muestra saturada

- **Absorción**

Capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergidos por 24 horas en agua. La relación del incremento en peso al peso de la muestra seca, expresada en porcentaje, se denomina Porcentaje de Absorción (Abanto, 2017).

La absorción influye en otras propiedades del agregado, como la adherencia con el cemento, la estabilidad química, la resistencia a la abrasión y la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo (Abanto, 2019)

El porcentaje de absorción en el agregado fino es:

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 \dots (14)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra seca en la mufla, en gramos

El porcentaje de absorción en el agregado grueso es:

$$Ab = \frac{A}{B - C} \dots (15)$$

Donde:

A : Peso en el aire de la muestra seca en el horno

B : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca

2.2.20. Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento determinado. Cuando dicha cantidad se expresa como porcentaje de la muestra seca (en estufa) se le denomina Porcentaje de Humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. Los agregados generalmente se los encuentra húmedos, y varía esta condición con el tiempo y el ambiente, por lo cual se debe determinar constantemente el contenido de humedad, para poder corregir luego en el diseño las proporciones de mezcla. También se define el contenido de humedad, como el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, expresado en porcentaje (Abanto, 2017).

Adicionalmente se pueden presentar cuatro casos los cuales son:

- Seco: No existe humedad en el agregado. Se consigue esto mediante un secado prolongado en una estufa a una temperatura de 105 ± 5 °C.
- Seco al aire: Cuando existe algo de humedad en el interior del árido. Es característica en los agregados secados al medio ambiente, y como en el estado anterior, el porcentaje de humedad es menor que el porcentaje de absorción.
- Saturado Superficialmente Seco: Es el estado en el cual, todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua. Esta condición es ideal, ya que el agregado no absorbe ni da más agua.
- Húmedo: En este estado existe una lámina de agua que rodea el agregado, la cual se denomina agua libre y viene a ser la cantidad de agua en exceso, respecto al estado saturado superficialmente seco. El porcentaje de humedad es mayor que el porcentaje de absorción.

En la norma NTP 400.010 se establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino y grueso. (Harmsen, 2019)

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$W\% = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s} \right) \times 100 \dots (16)$$

Donde:

Ph : Peso húmedo de la muestra

Ps : Peso seco de la muestra

2.2.21. Peso Unitario

Es el cociente de dividir el peso de las partículas secas del agregado entre el volumen de las mismas, considerando los vacíos entre partículas (Volumen aparente), usualmente se expresa en kilogramos por metro cúbico (Lezama, 2016)

- **Peso Unitario Compactado**

La NTP 400.017 nos proporciona dos métodos para determinar el peso unitario compactado: el método de apisonado y el método de percusión. Se describirá el primer método por ser el más utilizado.

Según la NTP 400.017, se llena el recipiente hasta la tercera parte y se nivela la superficie con la mano, luego se apisona la muestra con la barra compactadora con punta redondeada de 5/8", mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie, para las siguientes capas se repite el procedimiento, enrasando en la última capa el material que sobre. Tener en cuenta que para la primera capa no se golpee el fondo con fuerza, es decir solo se golpee hasta la segunda capa, y no la del fondo. Luego de todo eso se determinará el peso neto del agregado colocado en el recipiente (W_a) y por último se obtiene el peso unitario compactado del agregado al multiplicar dicho peso por el factor "f", este factor es el cociente de 1000 entre el peso del agua del recipiente (Lezama, 2016)

Entonces el factor "f" es:

$$f = \frac{1000}{W_a} \dots (17)$$

Donde:

W_a : Peso del agua del recipiente.

Y el peso unitario compactado es:

$$Puc = f \times Wc \dots (18)$$

Donde:

f : Factor de calibración.

Wc : Peso del material compactado.

- **Peso Unitario Suelto**

Para este caso el procedimiento descrito en la NTP 400.017 indica que se debe llenar el recipiente con una pala hasta rebosar, dejando caer el agregado desde una altura no mayor a 5 cm por encima del borde superior del recipiente. Se debe tomar las precauciones necesarias para impedir en lo posible la segregación de las partículas. Luego se elimina lo que sobra con una reglilla, se determina el peso neto del agregado en el recipiente (W_s), y por último se obtiene el peso unitario suelto del agregado multiplicando por el factor “f” (Lezama, 2016).

Entonces el factor “f” es:

$$f = \frac{1000}{W_a} \dots (17)$$

Donde:

W_a : Peso del agua del recipiente

Y el peso unitario compactado es:

$$Puc = f \times W_s \dots (19)$$

Donde:

f : Factor de calibración.

W_s : Peso del material suelto.

2.2.22. Ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan el tamiz N° 200 por lavado en agregados

La NTP 400.018 nos proporciona el procedimiento para determinar por vía húmeda el contenido de polvo o material que pasa el tamiz N°200 en el agregado que se empleará en la elaboración de concretos y morteros, ya que estas partículas pueden ser perjudiciales para para la elaboración de ambos. En el procedimiento las partículas finas o materiales solubles presentes en el agregado,

serán dispersadas por el agua, y serán removidos en el ensayo. La norma incluye dos procedimientos, uno utilizando solo agua para el lavado, y el otro un agente dispersante que facilite el desprendimiento de las partículas más finas que pasan el tamiz N° 200 (Abanto, 2017)

Para calcular el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 se tiene:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \dots (20)$$

Donde:

A : Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz N° 200 por vía húmeda.

P₁ : Peso seco de la muestra original en gramos.

P₂ : Peso seco de la muestra ensayada en gramos.

2.2.23. Resistencia a la Abrasión o Desgaste

La resistencia al desgaste es la oposición que presentan los agregados sometidos a fuerzas de impacto y al desgaste por abrasión y frotamiento, ya sea de carácter mecánico o hidráulico. Se mide en función inversa al incremento de material fino; y cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste. Esta propiedad en los agregados gruesos es muy importante porque con ella podemos observar cual es la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea óptima. La norma NTP 400.019 establece un método de ensayo para determinar en agregados gruesos de tamaños menores de 38,1 mm. (1 ½”) su resistencia al desgaste usando la máquina de ensayo de los Ángeles, ya que por esta prueba se puede aplicar cualquier tipo de agregado. (Lezama, 2016).

La siguiente expresión es usada para calcular el porcentaje de desgaste “De”:

$$De = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100 \dots (21)$$

Donde:

Wo : Peso original de la muestra en gramos.

Wf : Peso final de la muestra en gramos.

De : Porcentaje de desgaste o abrasión.

2.2.24. Procedimiento de diseño de mezclas

2.2.24.1. *Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas*

Para la elaboración del diseño de mezclas para los especímenes cilíndricos de concreto se consideró tener los siguientes requerimientos (Abanto, 2017):

- La trabajabilidad requerida.
- La consistencia requerida.
- La resistencia requerida.

2.2.24.2. *Procedimiento realizado para la selección de las proporciones del concreto por el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados.*

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en tablas que se presentarán en los siguientes pasos de este método, permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto, sin embargo este método determina que sea la resistencia que se desee, mientras se mantenga constante el tamaño máximo nominal del

agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, el contenido total de agregado grueso en la mezcla será el mismo, es decir que no depende del contenido de la pasta. Es por esta razón que muchos investigadores cuestionan el Método de Diseño del ACI, y por ello Staton Walker y un grupo de Investigadores de Concreto de la Universidad de Maryland formularon un procedimiento de selección de proporciones de la mezcla en el cual los porcentajes de agregado fino y grueso se ven afectados por su módulo de finura, dependiendo de las especificaciones de obra (Lezama, 2016).

En las investigaciones realizadas se pudo establecer una ecuación que relaciona el módulo de finuras de los agregados, y el porcentaje de incidencia con respecto al volumen absoluto total de agregado de la mezcla, dicha ecuación es:

$$m = rf \times mf + rg \times mg \dots (22)$$

Donde:

m: Módulo de finura de la combinación de agregados.

mf: Módulo de finura del agregado fino.

mg: Módulo de finura del agregado grueso.

rf: Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.

rg: Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

Siguiendo la secuencia que se indica a continuación:
(Harmsen, 2019)

- i.** Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a compresión especificada.
- ii.** Selección del tamaño máximo nominal del agregado.
- iii.** Selección del asentamiento.

- iv. Selección de volumen unitario del agua de diseño.
- v. Selección del contenido de aire.
- vi. Selección de la relación agua/cemento.
- vii. Determinación del Factor cemento.
- viii. Determinación del volumen absoluto de la pasta de cemento.
- ix. Determinación del volumen absoluto de los agregados.
- x. Determinación del módulo de finura de la combinación de agregados.
- xi. Determinación del porcentaje de agregados que intervienen en la mezcla.
- xii. Determinación de la cantidad de agregado fino y grueso.
- xiii. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

2.2.25. Aditivo de Grafeno

Consiste en una solución acuosa con base de grafeno IG (Grafeno Industrial – Alta pureza), la cual otorga los beneficios del grafeno a la mezcla de concreto. Se ha observado que da buenos resultados, pero si bien se experimenta en laboratorios con condiciones muy controladas para prefabricados y concreto industrial, aún existen preguntas acerca de su aplicación en otras obras como en pavimentos.

Existen diversos métodos para obtener grafeno y hacerlo aditivo, pero sin duda la mejor manera de reconocer la pureza del grafeno (y la calidad del aditivo preparado con este) en el color que este presenta, ya que la concentración es mayor cuando es más oscura (Nanographene, 2019).

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. Concreto

Es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Surahyo, 2019).

2.3.2. Flexión

Deformación que presenta un elemento alargado cuando se le aplica una fuerza en una dirección perpendicular a su eje longitudinal (podría ser su peso propio), la cual dobla el elemento, curvándola en la dirección de aplicación de la fuerza. (Harmsen, 2019).

2.3.3. Grafeno

Denominado material del futuro, es una sustancia compuesta por carbono puro en un patrón hexagonal (muy similar al grafito), cuyas características y propiedades lo hacen un material muy versátil utilizado en la medicina, electrónica y construcción (Graphenano Smart Materials, 2018).

2.3.4. Nanoaditivo

Adición que no es cemento, agregados y/o agua, compuesta por partículas nanométricas que incluida en la mezcla de concreto modifica a nivel molecular la unión entre componentes del mismo (Graphenano Smart Materials, 2018)

2.3.5. Nanoaditivo de grafeno

Adición compuesta por grafeno, el cual está compuesto por carbono en un patrón hexagonal, agua industrial y una cantidad mínima de etil

alhéido, para que pueda trabajar de la misma manera en las zonas ya probadas, al nivel del mar, así como en zonas altas (3400 m.s.n.m) (Nanographene, 2019)

2.3.6. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica de un elemento es la capacidad que tiene este de reaccionar frente a diferentes acciones externas como pueden ser la tensión, la compresión y el corte. (Surahyo, 2019)

2.3.7. Resistencia a la compresión

Capacidad máxima de carga que soporta un material antes de llegar a su límite de ruptura, se expresa en MPa o kg-f/cm². (Abanto, 2017).

2.3.8. Resistencia a la flexión

Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos de tracción. Este factor es importante en estructuras de concreto simple, como las losas de pavimentos (Abanto, 2017).

2.3.9. Optimización del diseño de concreto

Incremento o mejora de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto hidráulico, como son la resistencia a compresión, flexión, tracción del diseño de un concreto, en relación a su estado inicial o sin modificaciones utilizando tecnología que permita alcanzar un mejor desempeño, en resumen, aumentar su resistencia con los mismos materiales (Muñoz & Pacheco, 2017).

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

La utilización de aditivo de grafeno optimiza el diseño de concreto para pavimentos rígidos en un 10%, al incrementar en ese porcentaje su resistencia mecánica.

3.2. Variables

Resistencia mecánica del concreto : Dependiente.

Porcentaje de aditivo de grafeno : Independiente.

3.3. Operacionalización/Categorización de los componentes de las hipótesis

Tabla 1: Operacionalización/Categorización de los componentes

Título: “Optimización del diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno”					
Hipótesis	Definición conceptual de variables	Definición Operacional de Variables			
		Variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente o Instrumento de Recolección de Datos
La utilización de aditivo de grafeno optimiza el diseño de concreto para pavimentos rígidos en un 10%, al incrementar en ese porcentaje su resistencia mecánica.	Capacidad que poseen los cuerpos a oponerse a las fuerzas que actúan sobre ellos, ya sea en su eje longitudinal o transversal, y que pueden deformarlos momentáneamente o definitivamente, e incluso romperlos.	Resistencia mecánica del concreto	Resistencia a la compresión	Mpa (Kg-f/cm ²)	Ensayo de resistencia a la compresión
		(V.D)	Resistencia a la flexión	Mpa (Kg-f/cm ²)	Ensayo de resistencia a la flexión (Módulo de rotura)
	Nanoaditivo (adición que contiene partículas nanométricas, adición diferente de agua, agregados y/o cemento) compuesto de grafeno (Carbonos en patrón hexagonal, presentes como una gran lámina)	Porcentaje de aditivo de grafeno	Cantidad de aditivo de grafeno con respecto al peso del cemento	ml	Volumen de aditivo en vaso de precipitado
		(V.I)			

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

4.1.1. Laboratorio

La ubicación geográfica del laboratorio donde se llevó a cabo la investigación es: Universidad Nacional de Cajamarca con dirección Av. Atahualpa N°1050, Facultad de Ingeniería, en el laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” (Edificio 1C), ubicada la ciudad de Cajamarca, Provincia y Departamento de Cajamarca (Perú).

Tabla 2: *Coordenadas UTM – Universidad Nacional de Cajamarca.*

Coordenadas UTM - UNC	
Norte	9207008.75
Este	776623.79
Zona	17M
Datum	WGS 84

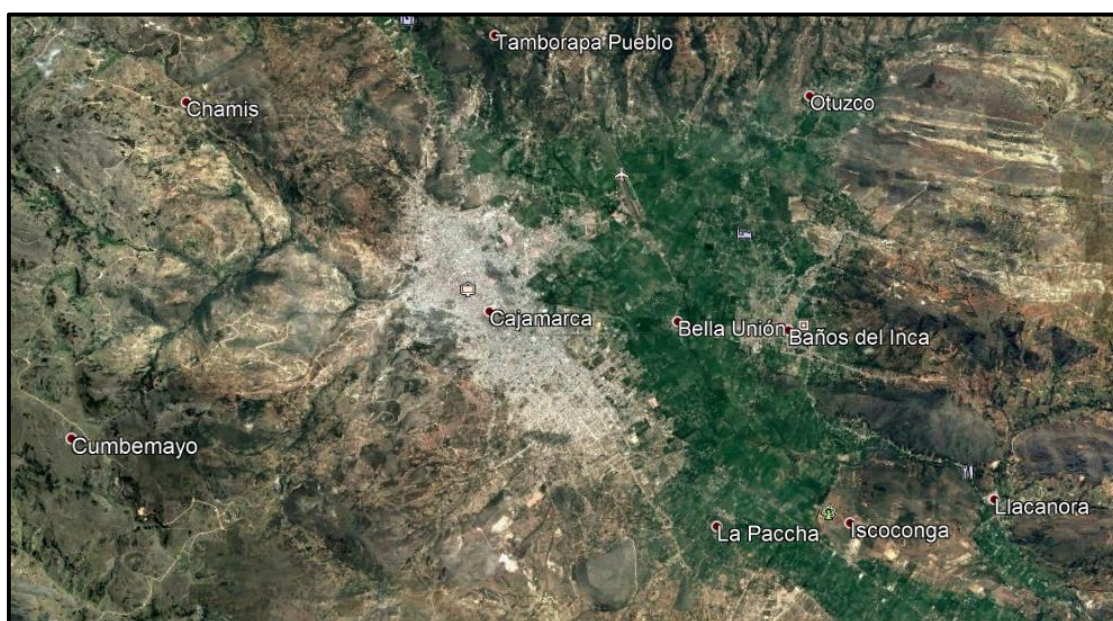


Figura 4: *Ciudad de Cajamarca.*

Fuente: Google Earth, 2019.



Figura 5: *Universidad Nacional de Cajamarca (UNC).*

Fuente: Google Earth, 2019.

4.1.2. Cantera

Los agregados de estudio se obtuvieron de la cantera “La Victoria” que se ubica en el valle de Cajamarca, a orillas de río Cajamarquino, específicamente dentro del Fundo La Victoria, ubicado en el distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca, en un área de 2.6 ha. La cantera se ubica a 2635 msnm.

El área limita por el norte con la propiedad de los hermanos Pajares, por el sur con la carretera al Caserío la Victoria y otros propietarios, por el este con el río Cajamarquino y por el oeste con la propiedad de los hermanos Pajares.

Tabla 3: *Coordenadas UTM – Cantera La Victoria*

Coordenadas UTM - Cantera	
Norte	9204859.95
Este	781312.68
Zona	17M
Datum	WGS 84



Figura 6: *Ubicación Cantera La Victoria.*

Fuente: Google Earth, 2019.

4.2. Diseño de la Investigación

El diseño es experimental ya que se manipuló la variable independiente (porcentaje de aditivo de grafeno), para controlar las diferencias del comportamiento de la variable dependiente (resistencia mecánica del concreto) y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, el experimento consiste en hacer un cambio en el valor de la variable independiente, en este caso el porcentaje de aditivo de grafeno y observar su efecto en la variable dependiente, resistencia mecánica del concreto. Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce la situación evaluada. También contiene un enfoque cuantitativo, ya que se tomaron datos que permiten probar nuestra hipótesis en base a una medición numérica para los diferentes diseños de concreto con aditivo de grafeno con el fin de obtener la influencia de su utilización y la optimización del diseño, es decir verificar que porcentaje es el que mejora sus propiedades de diseño.

- i. Obtención de las propiedades generales de los materiales con los que se realizarán las probetas tanto cilíndricas como prismáticas; dichos ensayos serán: Análisis granulométrico de los agregados, módulo de fineza, peso específico y absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado, cantidad de material que pasa la malla N° 200 y abrasión.

- ii. Realización del diseño de mezclas con el método módulo de finura de la combinación de agregados y datos obtenidos de las hojas técnicas en el caso del cemento y el aditivo de grafeno.
- iii. Elaboración de probetas cilíndricas para el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 7, 14 y 28 días.
- iv. Elaboración de probetas prismáticas rectangulares para el ensayo de flexión a la edad de 7, 14 y 28 días.
- v. Elaboración del análisis estadístico mediante los cuadros y tablas tanto para el ensayo de resistencia a la compresión y flexión.
- vi. Comparación y análisis de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión (Módulo de Rotura – Mr).

Para lograr el objetivo principal de la investigación, que es el de optimizar el diseño de concreto utilizando aditivo de grafeno, lo cual significa que se busca maximizar su beneficio, lograr aumentar su resistencia mecánica con los mismos materiales, por ello es necesario el análisis de las resistencias a compresión y flexión a los 7, 14 y 28 días.

4.3. Método y tipo de investigación

El método de la investigación es hipotético deductivo, observando la realidad problemática dada, formulando la hipótesis a corroborar, deducción de proposiciones, y verificación de la hipótesis formulada.

Tabla 4: *Criterio y tipo de investigación.*

CRITERIO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Finalidad	Aplicada
Objetivos	Descriptiva
Fuente	Primaria
Diseño	Experimental
Contexto	Laboratorio, campo

4.4. Población, Muestra y Unidad de Análisis y Observación.

4.4.1. Población

Población definida por las probetas de concreto $f'c=350$ kg-f/cm² con y sin adición de aditivo de grafeno, elaboradas con los agregados de la cantera “La Victoria”

4.4.2. Muestra

La muestra está definida por los 144 especímenes cilíndricos estándar de 6” x 12” y 144 prismáticas de 6” x 6” x 12” de concreto con un $f'c= 350$ kg-f/cm². (120 especímenes cilíndricos y 120 prismáticos con aditivo de grafeno; 24 especímenes cilíndricos y 24 prismáticos sin adición de aditivo de grafeno). Dependiendo del porcentaje de adición del aditivo de grafeno a ensayar.

Tabla 5: Número de especímenes de diseño.

RESULTADOS	FACTORES DE ANÁLISIS						TOTAL	
	Concreto patrón $f'c=350$ kg-f/cm ²	Concreto $f'c=350$ kg-f/cm ² con aditivo de grafeno						
Dosificación	Sin aditivo de grafeno	0.30% del peso del cemento	0.40% del peso del cemento	0.50% del peso del cemento	0.60% del peso del cemento	0.70% del peso del cemento		
Resistencia a la compresión (kg-f/cm²)	7 días	8	8	8	8	8	8	144 especímenes cilíndricos
	14 días	8	8	8	8	8	8	
	28 días	8	8	8	8	8	8	
Resistencia a la flexión (kg-f/cm²)	7 días	8	8	8	8	8	8	144 especímenes prismáticos
	14 días	8	8	8	8	8	8	
	28 días	8	8	8	8	8	8	

Se demuestra mediante diseños factoriales:

Tabla 6: *Tamaño de la muestra mediante diseños factoriales.*

Tamaño de la tabla	Potencia	Magnitud		
		Pequeña	Moderada	Grande
		$\omega^2 = 0.01$	$\omega^2 = 0.06$	$\omega^2 = 0.14$
		$f = 0.10$	$f = 0.25$	$f = 0.40$
2 x 2	0.70	152	25	11
	0.80	193	32	13
2 x 3	0.70	127	21	9
	0.80	158	26	11
2 x 4	0.70	109	18	8
	0.80	134	22	9
3 x 3	0.70	85	14	6
	0.80	106	18	7
3 x 4	0.70	73	12	5
	0.80	90	15	6
4 x 4	0.70	55	9	4
	0.80	67	12	5

Fuente: Morales (2012).

Entonces para nuestra tabla se tiene que $i = 2$ (Resistencia mecánica a la compresión y flexión) y $j = 4$ (+) (Porcentaje de aditivo de grafeno) y una potencia del 80% y magnitud $f = 0.40$ para una vinculación grande corresponde 09 unidades experimentales.

También se demuestra mediante lo dicho por Martínez (2012), en función del error máximo e y el número de probetas y la siguiente figura (ASTM C823).

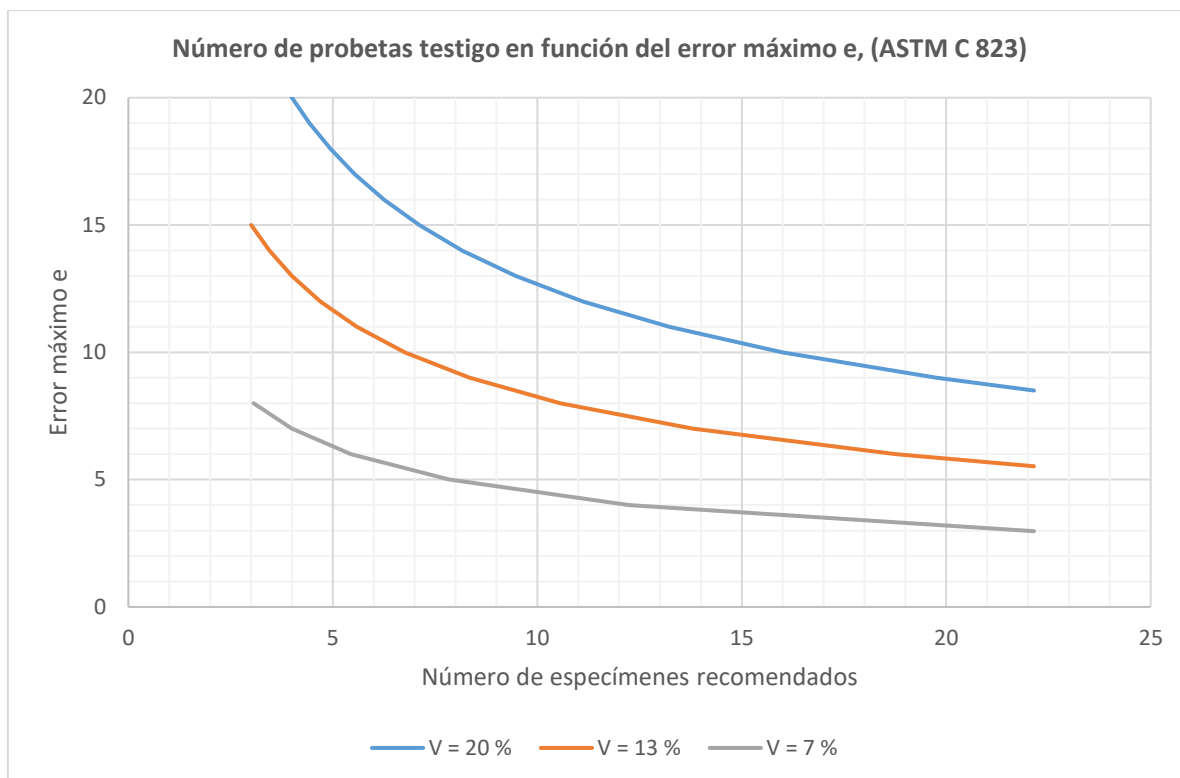


Figura 7: Número de probetas en función del error máximo e ASTM C 823.

Según la norma ASTM C823 recomienda que al menos debe haber 5 especímenes recomendados para cada prueba; y tomando en cuenta el gráfico se tiene que con un error máximo de 5% y un coeficiente de variación $V = 7\%$ que según Martínez se aceptan en el control de calidad del concreto el número de especímenes a considerar son 7.59 aproximadamente, entonces promediando las cantidades obtenidas, se tiene que la cantidad de especímenes a considerar sería de 7.1967, redondeando al inmediato superior se consideran 8 especímenes finales.

4.4.3. Unidad de Análisis y Observación

La unidad de análisis es el diseño de concreto con aditivo de grafeno, y la unidad de observación, los especímenes cilíndricos estándar (6" x 12") para ensayos a la compresión y los especímenes prismáticos rectangulares (6" x 6" x 20") para ensayos a la flexión, ambos tipos de especímenes hechos de concreto con la mezcla patrón y con los porcentajes de aditivo de grafeno considerados

para la presente investigación (0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70% en peso de cemento).

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para las técnicas, en primer lugar, se utilizó la revisión bibliográfica en donde las investigaciones a nivel nacional e internacional, artículos científicos, normas, reglamentos actualizados y páginas web oficiales a la fecha, son fuentes de información original; en segundo lugar, tenemos a la experimentación, realizando los ensayos de laboratorio, no solo se obtiene la resistencia mecánica de los especímenes cilíndricos y prismáticos, sino las características de los agregados utilizados en estos; y finalmente la observación, para poder obtener las muestras y el comportamiento de cada espécimen (tanto en estado fresco como endurecido).

Los instrumentos a utilizar en las técnicas antes mencionadas fueron:

- Formatos de laboratorio.
- Guías de observación.
- Equipos de medición
- Análisis documental.

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de datos se realizó mediante los cuadros de doble entrada, gráficos y formatos de ensayos de laboratorio. La información cuantitativa fue procesada mediante métodos estadísticos apropiados para cada caso, como la determinación de promedios, desviación estándar, coeficientes de varianza, varianza y agrupación de los tratamientos usando la prueba de rango múltiple de Tukey y mediante el uso de programas como el Microsoft Excel 2016 y el Minitab 18. (Diseño completamente al azar). Para el análisis de la información, toda la data recopilada se resumió mediante gráficos de líneas y barras, ya que los resultados obtenidos tienen variaciones, que evidencian el cuidado que se tuvo en realización de los ensayos y su uniformidad, para ello como se mencionó se realizaron los respectivos análisis estadísticos de: 1) resistencia mecánica a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto sin y con aditivo de grafeno a los 7, 14 y 28 días, y 2) resistencia mecánica a la flexión de especímenes prismáticos de concreto sin y con aditivo de grafeno a los 7, 14 y 28 días.

4.7. Equipos y materiales.

4.7.1. Equipos

- Balanza electrónica 30 kg de capacidad y precisión 10 g.
- Estufa con control de temperatura.
- Prensa o máquina universal.
- Máquina de ensayo a flexión (Mr).
- Mezcladora de concreto de capacidad 6 pies³.
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 5/8" de diámetro y 80 cm de largo, con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para no sufrir deformaciones (6" de diámetro x 12" de altura).
- Recipiente prismático rectangular de metal, suficientemente rígido para no sufrir deformaciones (6" de altura x 6" de ancho x 20" de largo)
- Picnómetro de 500 ml.
- Juego de Tamices conformados por N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N°100, N°200 para agregado fino.
- Juego de Tamices conformados por 3", 1 ½", ¾", 3/8", N°4, para agregado grueso.
- Cono de Abrams.

4.7.2. Materiales

- Agregados de la cantera La Victoria.
- Aditivo de grafeno (NanoGraphene)
- Agua.
- Cemento Portland Tipo I.

4.8. Matriz de consistencia metodológica

Tabla 7: Matriz de consistencia metodológica.

Título: “Optimización del diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno ”								
Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Unidad de medición	Fuentes o instrumentos de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿En qué porcentaje optimiza el diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos la utilización de aditivo de grafeno?	Optimizar el diseño de concreto empleado para pavimentos rígidos utilizando aditivo de grafeno.	La utilización de aditivo de grafeno optimiza el diseño de concreto para pavimentos rígidos en un 10%, al incrementar en ese porcentaje su resistencia mecánica.	Resistencia mecánica del concreto (V.D.)	Resistencia a la compresión	Mpa (Kg-f/cm ²)	Ensayo de resistencia a la compresión	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Investigación • Nivel de Investigación • Método de Investigación • Fuente 	<ul style="list-style-type: none"> • Población • Muestra • Unidad de análisis y observación
				Resistencia a la flexión	Mpa (Kg-f/cm ²)	Ensayo de resistencia a la flexión - cuatro puntos		
			Porcentaje de aditivo de grafeno (V.L.)	Cantidad de aditivo de grafeno con respecto al peso de cemento	ml.	Volumen de aditivo de grafeno en vaso de precipitado		

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de Resultados

5.1.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados

A continuación, se presentan el resumen de las propiedades físicas del agregado fino y grueso de la cantera “La Victoria”.

Tabla 8: *Propiedades físicas del agregado fino – Cantera “La Victoria”*

Propiedades físicas agregado fino	Cantidad	Unidad
Peso Específico de Masa	2.612	gr/cm ³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.654	gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.727	gr/cm ³
Peso Unitario Seco Suelto	1703.447	Kg/cm ³
Peso Unitario Seco Compactado	1844.545	Kg/cm ³
Contenido de Humedad	2.899	%
Absorción	1.612	%
Módulo de Finura	3.078	
Porcentaje que pasa la Malla N°200	3.000	%

Tabla 9: *Propiedades físicas del agregado grueso – Cantera “La Victoria”*

Propiedades físicas agregado grueso	Cantidad	Unidad
Perfil del Agregado		Angular
Tamaño Máximo Nominal		3/4"
Peso Específico de Masa	2.636	gr/cm ³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.659	gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.697	gr/cm ³
Peso Unitario Seco Suelto	1438.968	Kg/cm ³
Peso Unitario Seco Compactado	1527.882	Kg/cm ³
Contenido de Humedad	1.203	%
Absorción	0.863	%
Módulo de Finura	6.824	
Abrasión	28.900	%
Porcentaje que pasa la Malla N°200	0.400	%

5.1.2. Diseños de Mezcla

Tabla 10: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla de prueba*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	500.000 kg	Cemento =	500.000 kg
Agua de Mezcla =	205.000 lt	Agua Efectiva =	193.207 lt
Agregado Fino Seco =	665.867 kg	Agregado Fino Húmedo =	685.174 kg
Agregado Grueso Seco =	948.462 kg	Agregado Grueso Húmedo =	959.869 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%

Tabla 11: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla patrón (corregida)*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	208.934 lt	Agua Efectiva =	195.736 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Húmedo =	818.854 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Húmedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%

Tabla 12: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.30% de aditivo de grafeno*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	207.659 lt	Agua Efectiva =	194.461 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Húmedo =	818.854 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Húmedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%
Aditivo =	1.275 lt	Aditivo =	1.275 lt

Tabla 13: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.40% de aditivo de grafeno*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	207.234 lt	Agua Efectiva =	194.036 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Húmedo =	818.854 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Húmedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%
Aditivo =	1.700 lt	Aditivo =	1.700 lt

Tabla 14: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.50% de aditivo de grafeno*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	206.809 lt	Agua Efectiva =	193.611 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Húmedo =	818.854 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Húmedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%
Aditivo =	2.125 lt	Aditivo =	2.125 lt

Tabla 15: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.60% de aditivo de grafeno*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	206.384 lt	Agua Efectiva =	193.186 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Húmedo =	818.854 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Húmedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%
Aditivo =	2.550 lt	Aditivo =	2.550 lt

Tabla 16: *Cantidades de materiales por metro cúbico para mezcla con 0.70% de aditivo de grafeno*

Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	205.959 lt	Agua Efectiva =	192.761 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Húmedo =	818.854 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Húmedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%
Aditivo =	2.975 lt	Aditivo =	2.975 lt

5.1.3. Asentamiento de las mezclas de concreto

Tabla 17: *Asentamiento en milímetros de las mezclas de concreto con aditivo y sin aditivo de grafeno*

Número de Especimen	Mezcla al 0.00%	Mezcla al 0.30%	Mezcla al 0.40%	Mezcla al 0.50%	Mezcla al 0.60%	Mezcla al 0.70%
Asentamiento	76.40 mm	77.50 mm	78.10 mm	77.90 mm	76.90 mm	77.70 mm

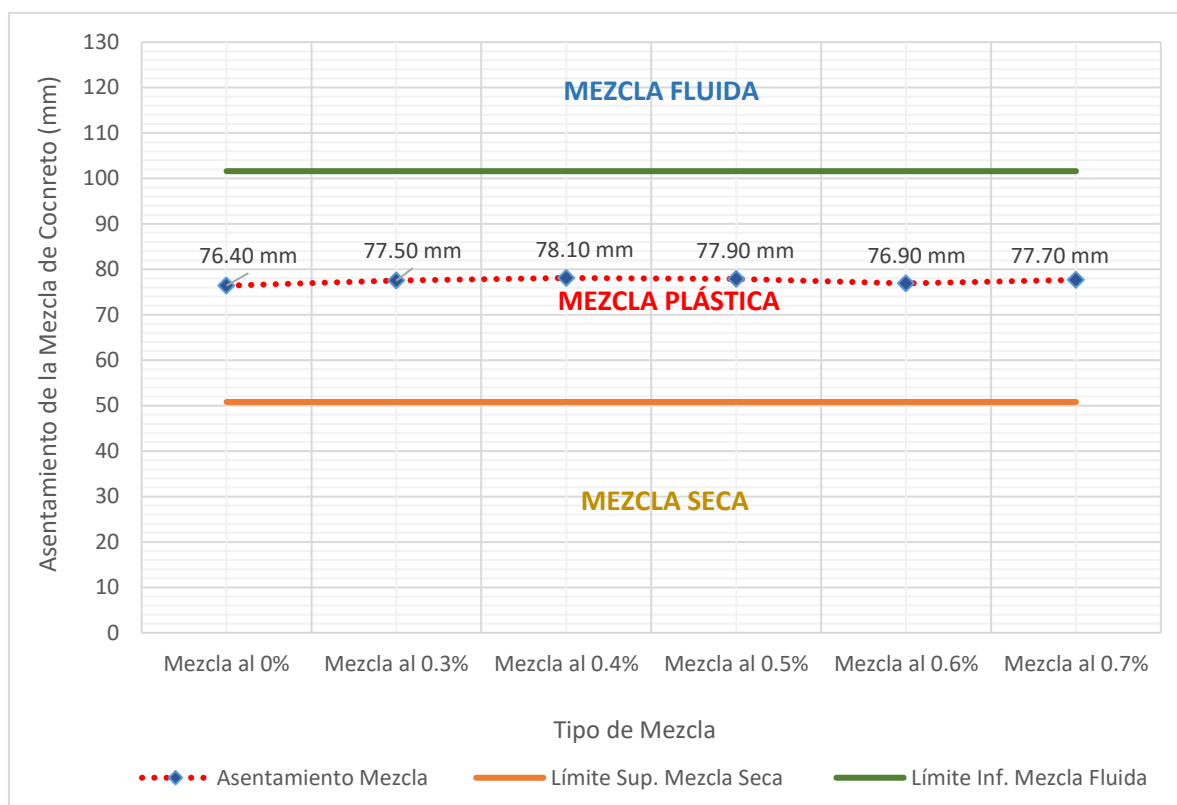


Figura 8: Tipo de asentamiento de las mezclas de concreto sin aditivo y con aditivo de grafeno en milímetros

5.1.4. Peso Unitario del Concreto Fresco

Tabla 18: Peso unitario del concreto fresco sin aditivo y con aditivo de grafeno

Número de Espécimen	Mezcla al 0.00%	Mezcla al 0.30%	Mezcla al 0.40%	Mezcla al 0.50%	Mezcla al 0.60%	Mezcla al 0.70%
Promedio	2322.65 kg/m ³	2322.38 kg/m ³	2322.83 kg/m ³	2323.19 kg/m ³	2322.98 kg/m ³	2323.12 kg/m ³

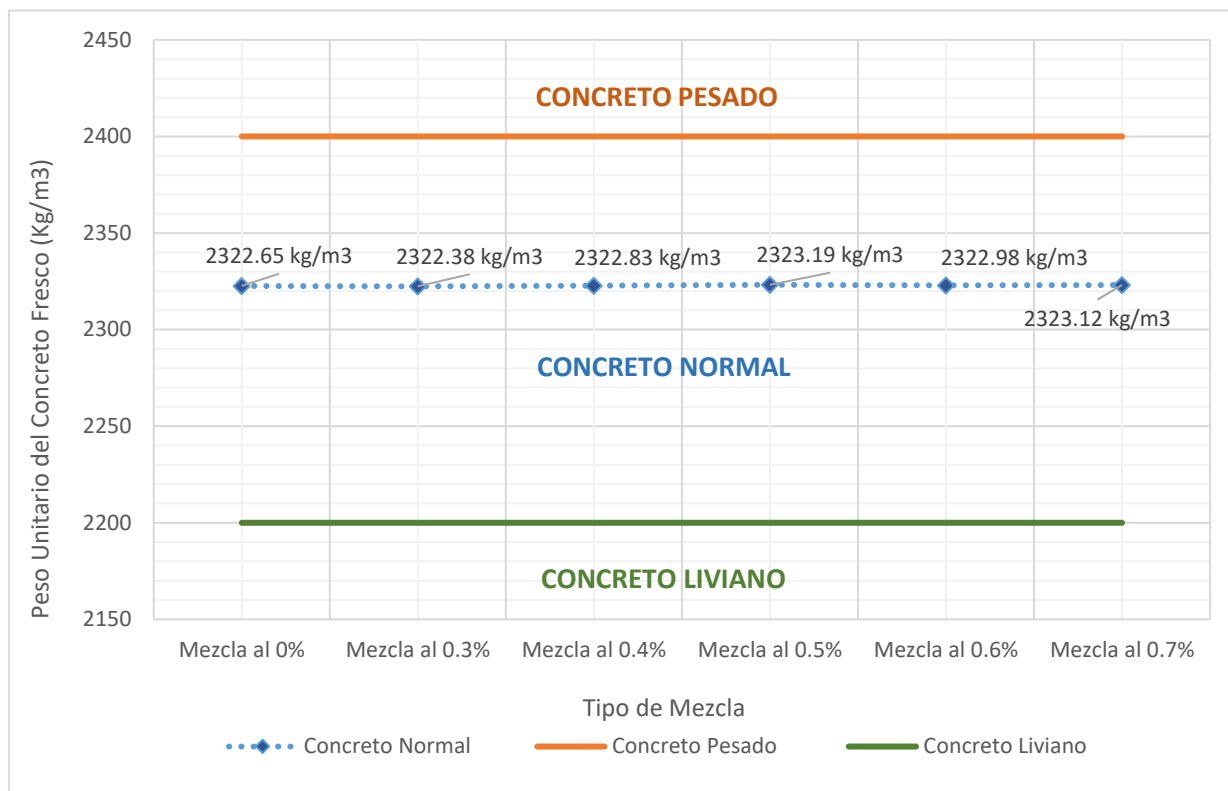


Figura 9: *Peso unitario del concreto fresco para las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno*

5.1.5. Peso Unitario del Concreto Endurecido

Tabla 19: *Peso unitario del concreto endurecido sin aditivo y con aditivo de grafeno*

Edad de Especímenes	Mezcla al 0.00%	Mezcla al 0.30%	Mezcla al 0.40%	Mezcla al 0.50%	Mezcla al 0.60%	Mezcla al 0.70%
7 días	2332.640	2330.636	2328.750	2327.241	2326.321	2326.109
14 días	2338.605	2336.601	2334.715	2333.206	2332.286	2332.051
28 días	2341.883	2339.879	2337.945	2336.436	2335.517	2335.304

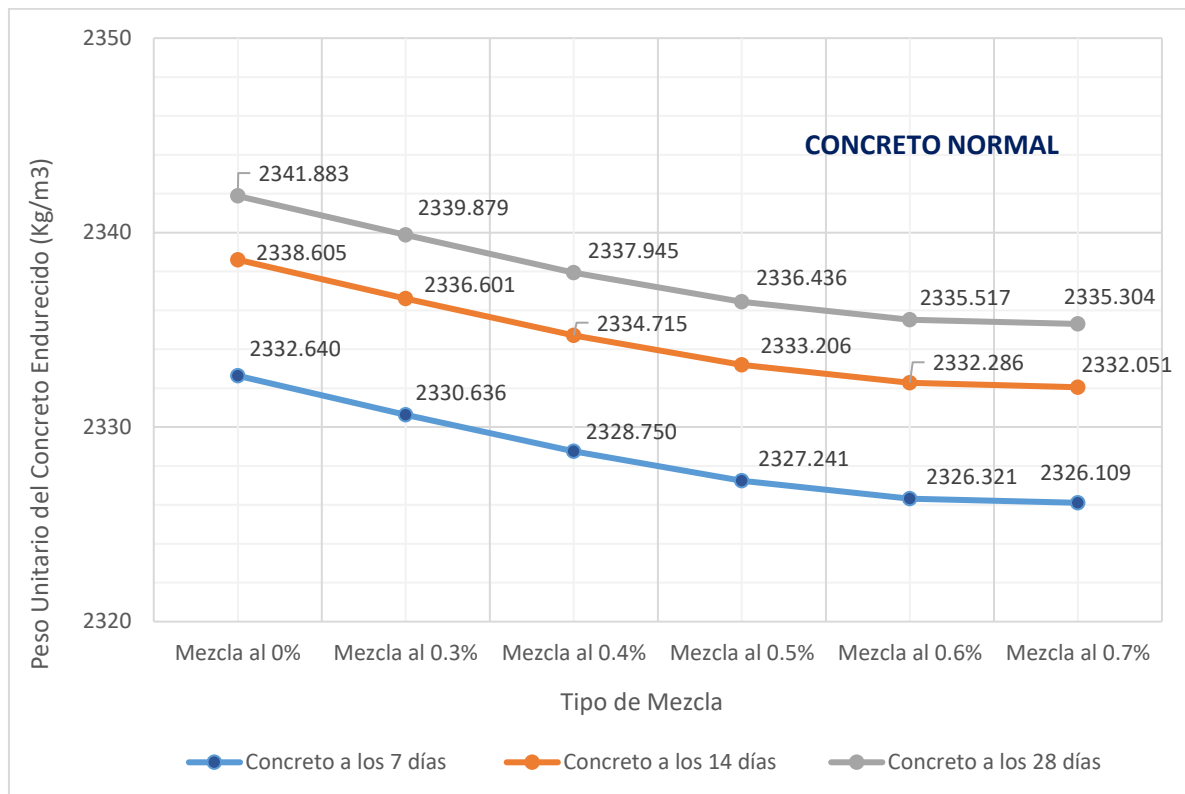


Figura 10: *Peso unitario del concreto endurecido para las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno*

5.1.6. Resistencia a Compresión Promedio

Tabla 20: *Promedio de ensayos a compresión a 7, 14 y 28 días de las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno*

Edad de Probetas	Resist. 0.00% (Mpa)	Variación	Resist. 0.30% (Mpa)	Variación	Resist. 0.40% (Mpa)	Variación	Resist. 0.50% (Mpa)	Variación	Resist. 0.60% (Mpa)	Variación	Resist. 0.70% (Mpa)	Variación	
		f'c de diseño (34.32 Mpa)		f'c de diseño (34.32 Mpa)		f'c de diseño (34.32 Mpa)		f'c de diseño (34.32 Mpa)		f'c de diseño (34.32 Mpa)		f'c de diseño (34.32 Mpa)	
Resist. a Compresión	7 días	28.10	81.87%	30.76	89.63%	33.76	98.36%	35.98	104.83%	37.65	109.68%	38.92	113.40%
	14 días	31.91	92.97%	35.24	102.67%	38.01	110.75%	39.96	116.41%	41.29	120.29%	42.18	122.88%
	28 días	34.68	101.05%	37.46	109.13%	40.23	117.22%	42.18	122.88%	43.56	126.92%	44.67	130.15%

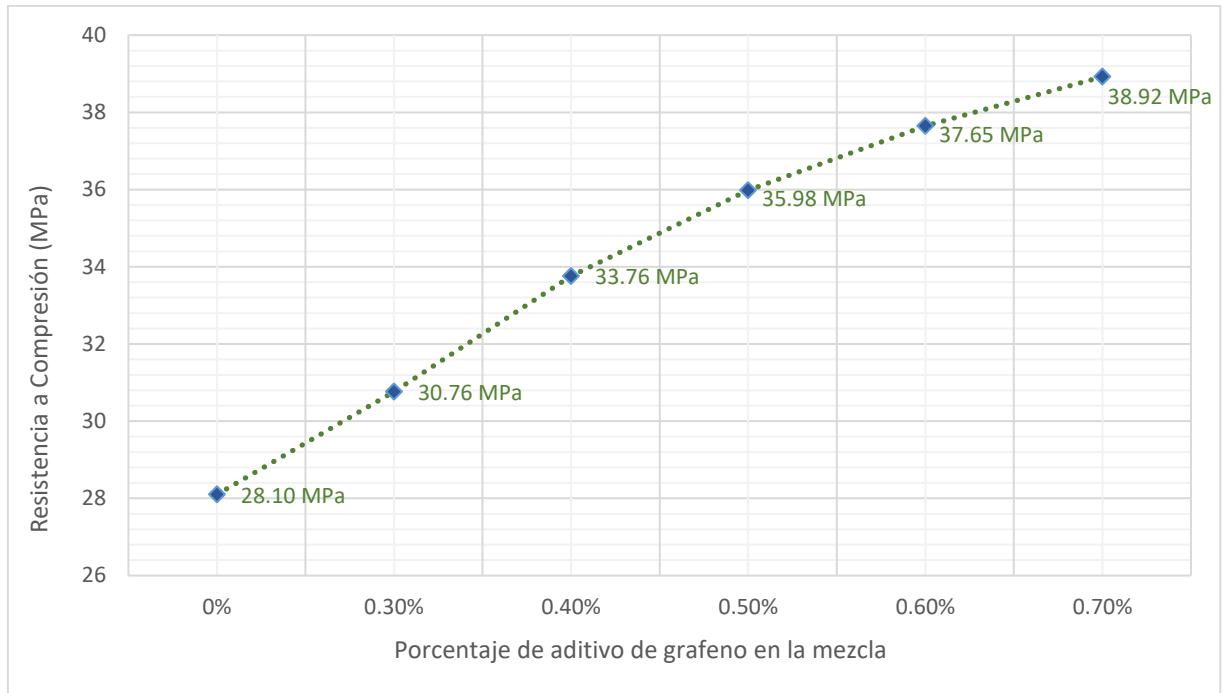


Figura 11: Resistencia a compresión del concreto a los 7 días Vs. Porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

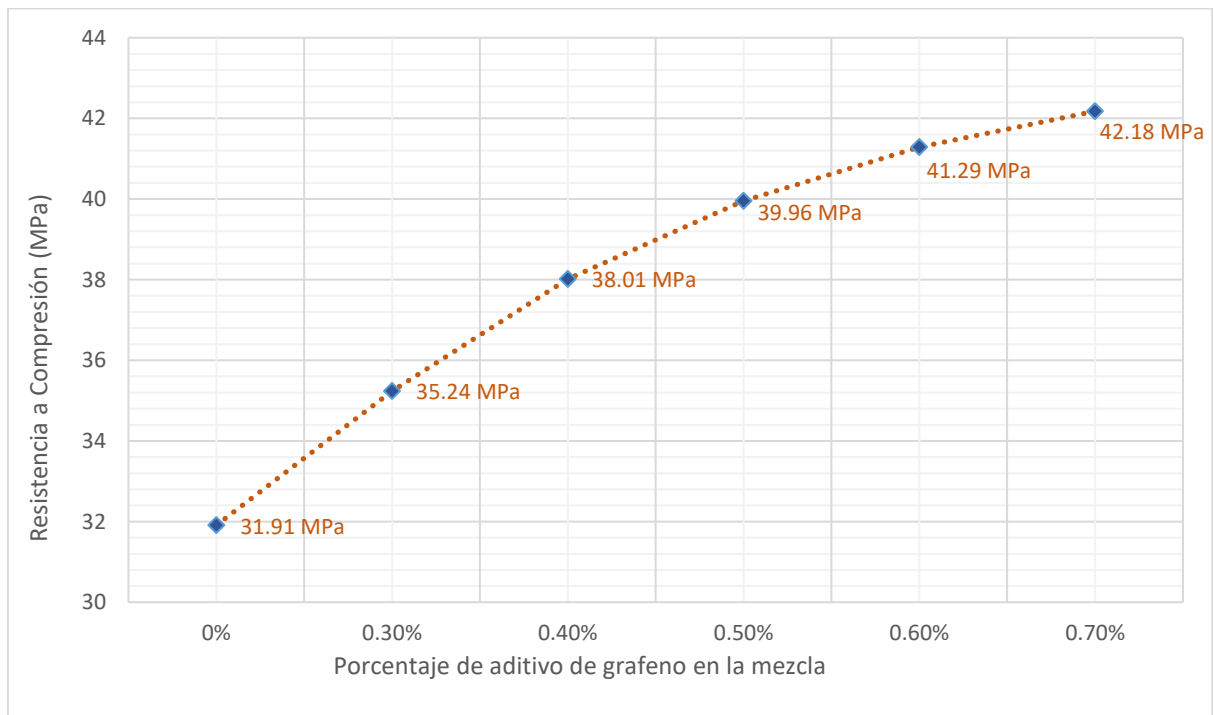


Figura 12: Resistencia a compresión del concreto a los 14 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

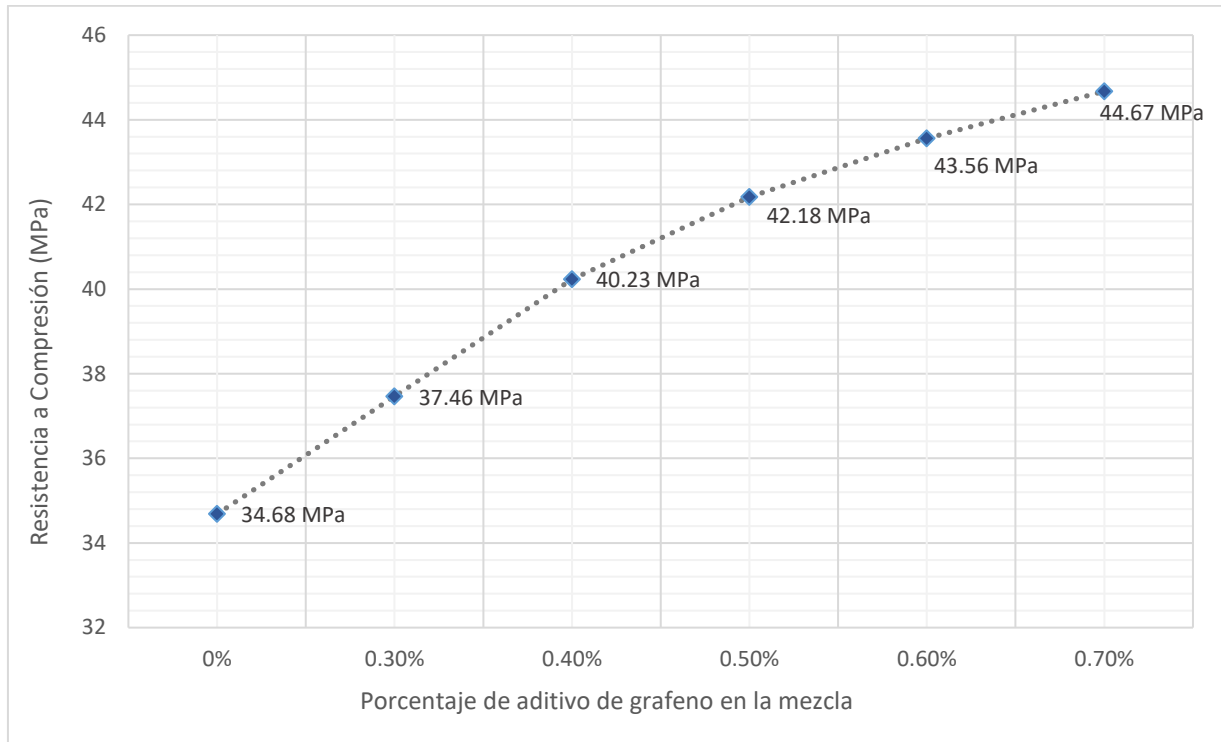


Figura 13: Resistencia a compresión del concreto a los 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

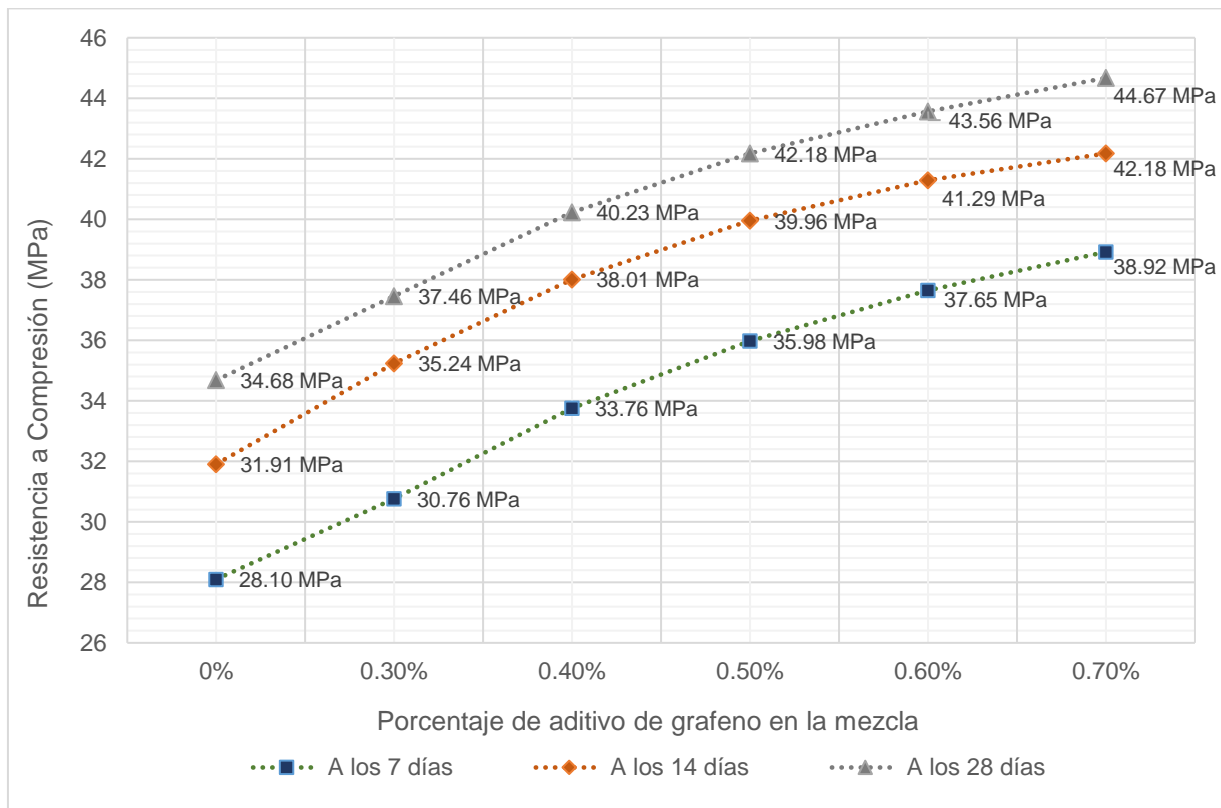


Figura 14: Resistencia a compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

5.1.7. Resistencia a Flexión Promedio (Módulo de Rotura)

Tabla 21: Promedio de ensayos a flexión (Módulo de rotura) a 7, 14 y 28 días de las mezclas sin aditivo y con aditivo de grafeno

Edad de Probetas		Resist.	Variación	Resist.	Variación	Resist.	Variación	Resist.	Variación	Resist.	Variación	Resist.	Variación
		0.00% (Mpa)	f'c de diseño (3.48 Mpa)	0.30% (Mpa)	f'c de diseño (3.48 Mpa)	0.40% (Mpa)	f'c de diseño (3.48 Mpa)	0.50% (Mpa)	f'c de diseño (3.48 Mpa)	0.60% (Mpa)	f'c de diseño (3.48 Mpa)	0.70% (Mpa)	f'c de diseño (3.48 Mpa)
Resist. a Flexión	7 días	2.82	81.18%	3.25	93.34%	3.66	105.22%	3.98	114.29%	4.20	120.89%	4.37	125.54%
	14 días	3.20	92.00%	3.72	106.87%	4.11	118.06%	4.38	126.04%	4.57	131.46%	4.70	134.98%
	28 días	3.48	100.00%	3.95	113.46%	4.32	124.21%	4.59	131.89%	4.77	137.24%	4.91	141.12%

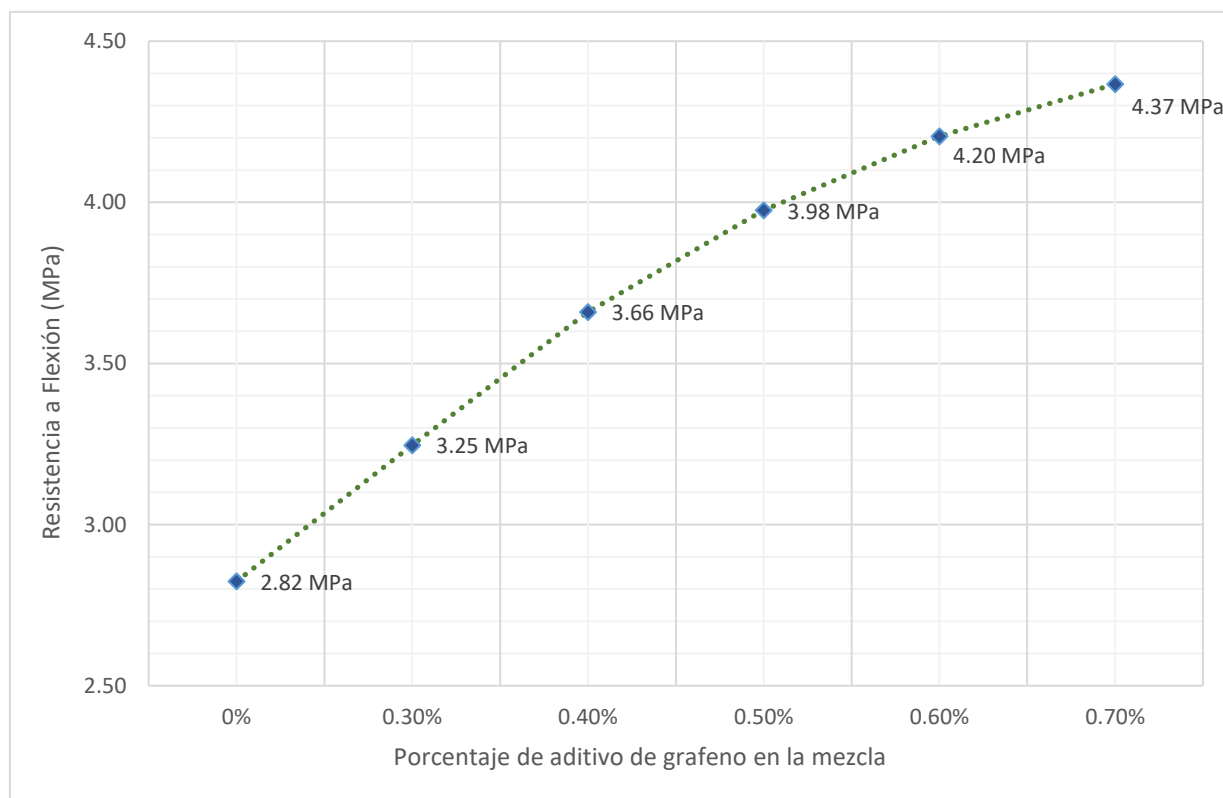


Figura 15: Resistencia a flexión del concreto a los 7 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

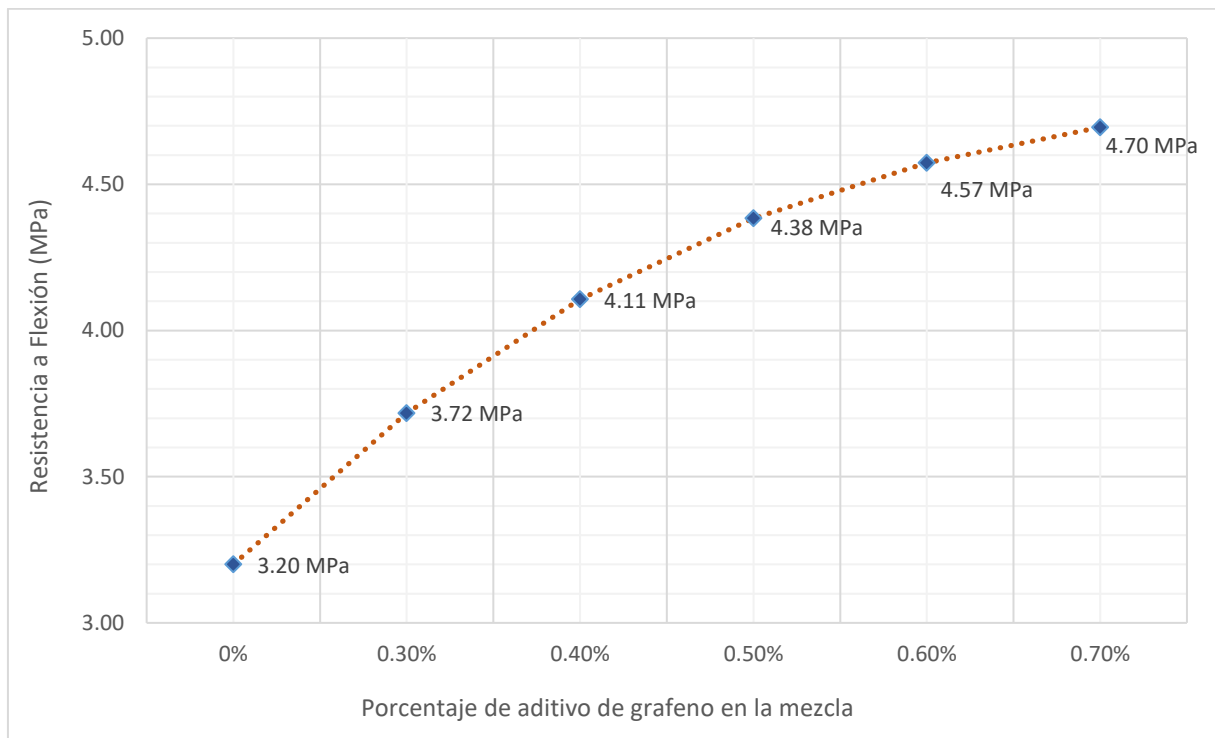


Figura 16: Resistencia a flexión del concreto a los 14 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

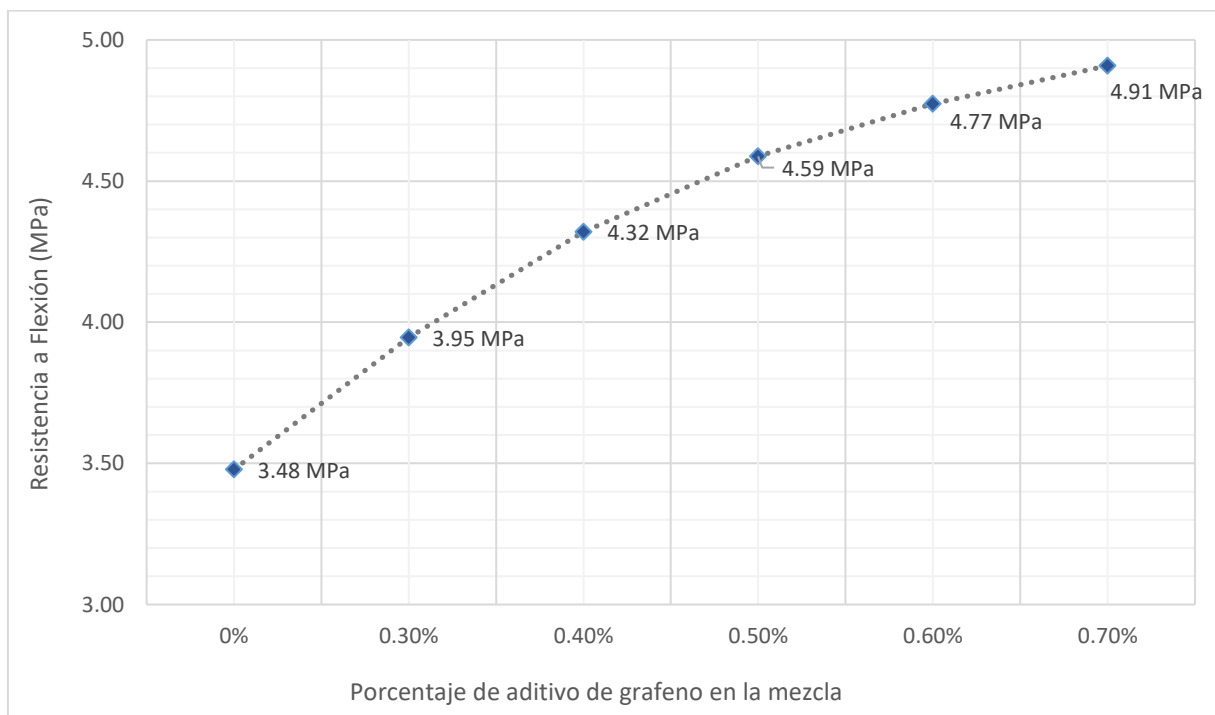


Figura 17: Resistencia a flexión del concreto a los 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

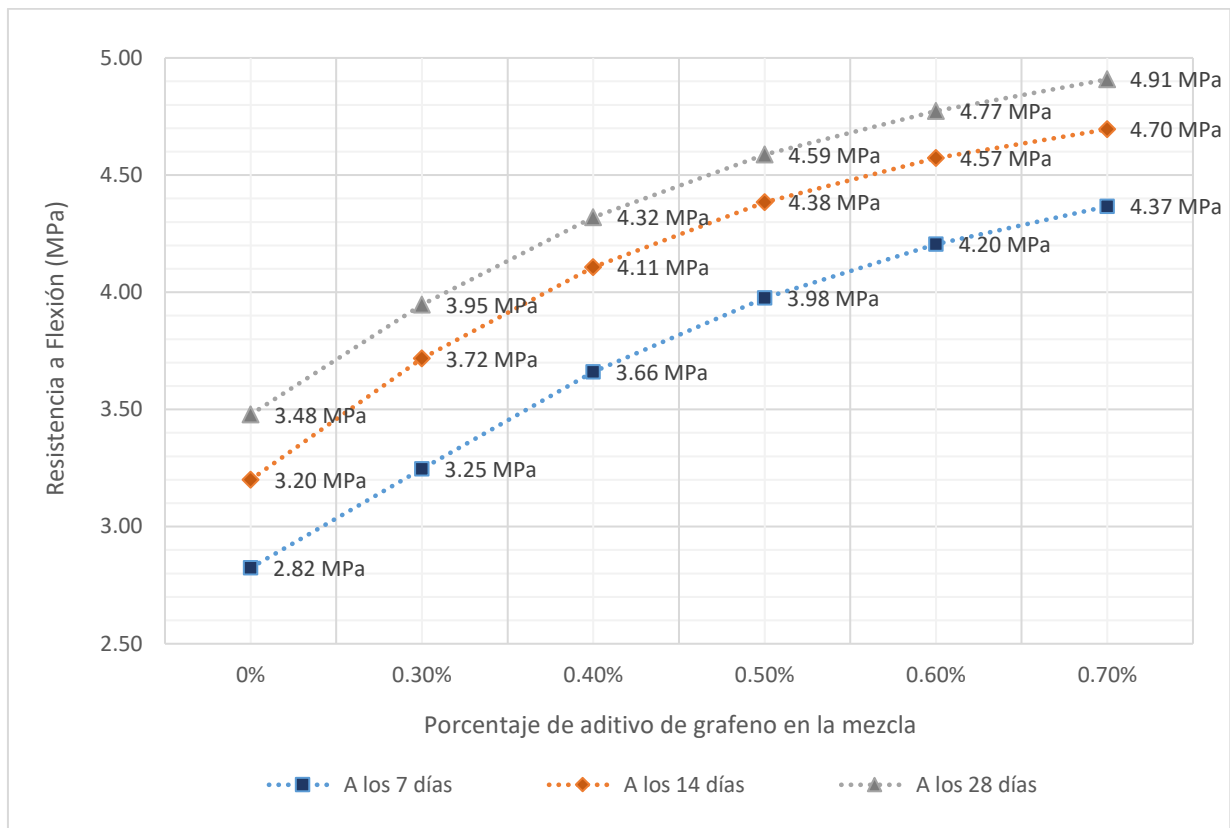


Figura 18: Resistencia a flexión del concreto a los 7, 14 y 28 días Vs. porcentaje de aditivo de grafeno en la mezcla

5.2. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de la consistencia de la mezcla

En la Tabla 17 y la Figura 8, las mezclas elaboradas en laboratorio presentan los siguientes asentamientos: para la mezcla sin aditivo de grafeno (0.00%) un asentamiento de 76.4 mm, para la mezcla con aditivo de grafeno al 0.30% un asentamiento de 77.50 mm, para la mezcla con 0.40% un asentamiento de 78.10 mm, para la mezcla de 0.50% un asentamiento de 77.90 mm, para la mezcla de 0.60% un asentamiento de 76.90 mm y por último para la mezcla de 0.70% un asentamiento de 77.70 mm, por lo cual se puede mencionar que la utilización de aditivo de grafeno en la mezcla y en el rango de esos porcentajes no afecta a la consistencia de la mezcla, debido a que es una mezcla plástica y en pavimentos el asentamiento (Slump) debe ser aproximadamente 3” (76.20mm), siendo la mayor diferencia con el porcentaje de 0.50% de aditivo de grafeno, la cual es 1.5 mm y corresponde aproximadamente a un 1.96% de

variación con respecto al asentamiento de la mezcla sin aditivo de grafeno (0.00%)

5.2.2. Análisis, interpretación y discusión del peso unitario del concreto fresco

Según la Tabla 18 y la Figura 9, los promedios correspondientes a los pesos unitarios del concreto en estado fresco, el peso de la mezcla sin aditivo de grafeno (0.00%) es 2322.65 kg/m³, para la mezcla con aditivo de grafeno al 0.30% es 2322.38 kg/m³, para la mezcla de 0.40% es 2322.83 kg/m³, para la mezcla de 0.50% es 2323.19 kg/m³, para la mezcla de 0.60% es 2322.98 kg/m³ y por último para la mezcla de 0.70% es 2323.12 kg/m³, estos valores no difieren demasiado entre sí, tomando como referencia la mezcla sin aditivo y el mayor valor correspondiente a la mezcla con aditivo al 0.50%, la diferencia es de un 0.54 kg/m³, que es aproximadamente un 0.02% de variación; además las diferentes mezclas se encuentran dentro de los límites inferior (concreto liviano) y superior (concreto pesado), en una parte media, con lo cual se dice que el concreto elaborado es un concreto normal.

5.2.3. Análisis, interpretación y discusión del peso unitario del concreto endurecido

Según la Tabla 19 y la Figura 10, los promedios correspondientes a los pesos unitarios del concreto en estado endurecido para cada tipo de mezcla elaborada, sin aditivo de grafeno y al 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70%, a las edades de 7, 14 y 28 días, se puede observar un descenso en el valor del peso, es así que, la diferencia entre el valor mínimo de peso de concreto endurecido a los 7 días de edad que corresponde al concreto sin adición de aditivo de grafeno y el valor máximo de peso de concreto endurecido a los 7 días de edad que corresponde al concreto con adición de aditivo de grafeno al 0.70%, tiene un valor de 6.579 kg/m³.

En los especímenes de concreto de 14 días y 28 días de edad, los valores máximos y mínimos de peso de concreto endurecido corresponden al concreto sin adición de aditivo de grafeno y al concreto con adición de aditivo de grafeno al 0.70% respectivamente, siendo estas diferencias 6.554 kg/m³ para los 14 días y 6.531 kg/m³, observándose que para cada tratamiento en promedio el peso disminuye aproximadamente en 6.55 kg/m³.

Un punto importante a resaltar es que el peso del concreto en estado endurecido para los 7, 14 y 28 días y en específico para los tratamientos al 0.60% y 0.70% de aditivo de grafeno la disminución del peso es casi nula, por lo cual se puede decir que el óptimo porcentaje para la disminución del peso corresponde al tratamiento con 0.70%.

5.2.4. Análisis, interpretación y discusión de la resistencia a compresión promedio de los especímenes cilíndricos

Se evaluaron las dos dimensiones que son resistencia mecánica a la compresión y flexión, en los anteriores ítems recurrimos al uso de las Tablas y Figuras respectivas, para poder analizar e interpretar los resultados obtenidos para las características como el asentamiento y los pesos en estados fresco y endurecido del concreto, ahora se analiza e interpreta los resultados obtenidos de la resistencia a compresión luego de ensayados los especímenes cilíndricos elaborados en laboratorio, para ello en esta parte se recurrió al uso de las Tabla 20 y Figuras 11, 12, 13 y 14, que corresponden al ítem de los resultados a compresión (además de los datos presentes en el Apéndice 4, Tablas 77 a 94), para luego realizar el análisis estadístico con el programa Minitab 18, haciendo uso de un diseño completamente al azar (DCA), entonces para esto: 1) Se verifica que: haya Normalidad en los errores y Homogeneidad de Varianzas 2) Se analiza las varianzas y 3) Se realiza comparaciones múltiples (Prueba de Tukey).

COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

Tabla 22: Normalidad de los errores – resistencia a la compresión a los 7 días.

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
AD (Estadístico de Prueba)	0.180
Valor P	0.911
0.911 > 0.050	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de normalidad

b. Homogeneidad de varianzas

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

Tabla 23: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la compresión a los 7 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
Barlett (Estadístico de Prueba)	7.28
Valor P	0.201
0.201 > 0.050	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de HDV

2° Análisis de varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno aumenta la resistencia a compresión del diseño de concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes).

Tabla 24: Análisis de varianzas – resistencia a la compresión a los 7 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
F (Estadístico de Prueba)	426.53
Valor P	0.0000
0.0000 < 0.050	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

3° Comparaciones múltiples (Prueba de Tukey)

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.30\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.30\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$

Tabla 25: Prueba de Tukey – resistencia a la compresión a los 7 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
Todas las $u_0 \neq u_1$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

Tabla 26: Normalidad de los errores – resistencia a la compresión a los 14 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
AD (Estadístico de Prueba)	0.485
Valor P	0.217
$0.485 > 0.050$	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de normalidad

b. Homogeneidad de varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Por lo tanto

Hipótesis:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

Tabla 27: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la compresión a los 14 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
Barlett (Estadístico de Prueba)	1.95
Valor P	0.857
$0.857 > 0.050$	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de HDV

2° Análisis de varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a compresión del diseño de concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Tabla 28: Análisis de varianzas – resistencia a la compresión a los 14 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
F (Estadístico de Prueba)	318.94
Valor P	0.0000
$0.0000 < 0.050$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

3° Comparaciones múltiples (Prueba de Tukey)

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.60\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.60\%} \neq u_{0.70\%}$

Tabla 29: Prueba de Tukey – resistencia a la compresión a los 14 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
Todas las $u_0 \neq u_1$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

Tabla 30: Normalidad de los errores – resistencia a la compresión a los 28 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
AD (Estadístico de Prueba)	0.749
Valor P	0.048
0.048 > 0.005	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de normalidad

b. Homogeneidad de varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

Tabla 31: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la compresión a los 28 días

Homogeneidad de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
Barlett (Estadístico de Prueba)	4.16
Valor P	0.527
0.527 > 0.050	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de HDV

2° Análisis de varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a compresión del diseño de concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Tabla 32: *Análisis de varianzas – resistencia a la compresión a los 28 días*

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
F (Estadístico de Prueba)	348.40
Valor P	0.0000
0.0000 < 0.050	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

3° Comparaciones múltiples

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.30\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.30\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$

Tabla 33: Prueba de Tukey – resistencia a la compresión a los 28 días

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
Todas las $u_0 \neq u_1$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

Como parte fundamental la interpretación que proporcionó estos resultados es que si bien la resistencia a compresión del concreto aumenta de manera constante cuando se incrementa la cantidad de aditivo de grafeno presente en el concreto, incluido con el pasar de los días, este incremento comienza a ser menor entre los 0.50% y los 0.70% de aditivo de grafeno por peso del cemento, lo que indica que la transición a 0.80% ya no es tan relevante, ya que se utilizaría más aditivo para obtener los mismos resultados que a los 0.70%, lo que se explica se puede ver reflejado en las Figuras 11 a la 14 y la Tabla 20, así como en los resultados estadísticos que se muestran en el presente acápite.

Se puede observar el importante incremento porcentual en cuanto a la resistencia a compresión a los 7 días, dando un valor cercano a los 34.32 Mpa (350 kg-f/cm²) el diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.40% en peso de cemento, lo que indica el alto grado de resistencia inicial alcanzada, ya que comparando el mismo valor (34.32 Mpa – 350 kg-f/cm²) con aditivo de grafeno al 0.70% el aumento porcentual llega a un 13.40%. Con la mezcla a los 14 días también se observa un aumento considerable tan solo con el diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.30% en peso del cemento, a los 14 días, se puede llegar e incluso aumentar en un 2.67% al valor de referencia (34.32 Mpa – 350 kg-f/cm²), y comparando el mismo valor con el diseño de mezcla con 0.70% de aditivo de grafeno en peso del cemento el aumento es mucho más considerable que a los 7 días con la misma cantidad de grafeno en un 22.88%.

Por último, con la mezcla a los 28 días, se observa el máximo porcentaje de aumento con respecto al f'_c de diseño (34.32 Mpa – 350 kg-f/cm²) con un 30.15%, el cual también corresponde al diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.70% en peso de cemento.

Observando los resultados estadísticos con la prueba de Tukey, que para las diferentes edades del concreto con y sin aditivo de grafeno, el

porcentaje que incrementa la resistencia a compresión del diseño de concreto es al 0.70% de aditivo de grafeno en peso del cemento.

5.2.5. Análisis, interpretación y discusión de la resistencia a flexión promedio (Módulo de Rotura) de los especímenes prismáticos

En los anteriores ítems se recurre al uso de las Tablas y Figuras respectivas para poder analizar e interpretar los resultados obtenidos para las características como el asentamiento y los pesos en estados fresco y endurecido del concreto, ahora se analiza e interpreta los resultados obtenidos de la resistencia a flexión (módulo de rotura) luego de ensayados los especímenes prismáticos elaborados en laboratorio, para ello en esta parte se recurre al uso de la Tabla 21 y Figuras 15, 16, 17 y 18, que corresponden al ítem de los resultados a flexión (además de los datos presentes en el Apéndice 4, Tablas 95 a 112), para luego realizar el análisis estadístico con el programa Minitab 18, haciendo uso de un diseño completamente al azar (DCA), entonces para esto: 1) Se verifica que: Haya normalidad en los errores y Homogeneidad de Varianzas 2) Se analiza las varianzas y 3) Se realiza comparaciones múltiples (Prueba de Tukey)

FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

Tabla 34: Normalidad de los errores – resistencia a la flexión a los 7 días.

Resumen	
α (Nivel de Significación)	0.05
AD (Estadístico de Prueba)	0.381
Valor P	0.389
0.389 > 0.005	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de normalidad

b. Homogeneidad de varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales y tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

Tabla 35: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la flexión a los 7 días

Homogeneidad de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
Barlett (Estadístico de Prueba)	4.72
Valor P	0.451
0.451 > 0.050	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de HDV

2° Análisis de varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a flexión del diseño de concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a la flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a la flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Tabla 36: Análisis de varianzas – resistencia a la flexión a los 7 días

Análisis de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
F (Estadístico de Prueba)	383.79
Valor P	0.0000
0.0000 < 0.050	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

3° Comparaciones múltiples (Prueba de Tukey)

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.30\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.30\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$

Tabla 37: Prueba de Tukey – resistencia a la flexión a los 7 días

Prueba de Tukey	
α (Nivel de Significación)	0.05
Todas las $u_0 \neq u_1$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

Tabla 38: Normalidad de los errores – resistencia a la flexión a los 14 días.

Normalidad de los errores	
α (Nivel de Significación)	0.05
AD (Estadístico de Prueba)	0.220
Valor P	0.825
$0.825 > 0.005$	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de normalidad

b. Homogeneidad de varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales y tenemos:

Hipótesis:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

Tabla 39: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la flexión a los 14 días

Homogeneidad de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
Barlett (Estadístico de Prueba)	3.31
Valor P	0.652
$0.652 > 0.050$	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de HDV

2° Análisis de varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a flexión del diseño de concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes).

Tabla 40: Análisis de varianzas – resistencia a la flexión a los 14 días

Análisis de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
F (Estadístico de Prueba)	480.07
Valor P	0.0000
$0.0000 < 0.050$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

3° Comparaciones múltiples

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.60\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.60\%} \neq u_{0.70\%}$

Tabla 41: Prueba de Tukey – resistencia a la flexión a los 14 días

Prueba de Tukey	
α (Nivel de Significación)	0.05
Todas las $u_0 \neq u_1$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

Tabla 42: Normalidad de los errores – resistencia a la flexión a los 28 días.

Normalidad de los errores	
α (Nivel de Significación)	0.05
AD (Estadístico de Prueba)	0.596
Valor P	0.116
0.116 > 0.005	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de normalidad

b. Homogeneidad de varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales y tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

Tabla 43: Homogeneidad de varianzas – resistencia a la flexión a los 28 días

Homogeneidad de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
Barlett (Estadístico de Prueba)	7.07
Valor P	0.215
0.215 > 0.050	No se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se cumple el supuesto de HDV

2° Análisis de varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a flexión del diseño del concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Tabla 44: *Análisis de varianzas – resistencia a la flexión a los 28 días*

Análisis de Varianzas	
α (Nivel de Significación)	0.05
F (Estadístico de Prueba)	514.28
Valor P	0.0000
0.0000 < 0.050	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

3° Comparaciones múltiples

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.60\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.60\%} \neq u_{0.70\%}$

Tabla 45: Prueba de Tukey – resistencia a la flexión a los 28 días

Prueba de Tukey	
α (Nivel de Significación)	0.05
Todas las $u_0 \neq u_1$	Se rechaza la H_0
Con una significancia del 5% (0.050)	Se acepta la H_1

La interpretación que proporciona estos resultados es parecido a lo que se tiene en el apartado correspondiente a la resistencia a compresión, si bien la resistencia a flexión del concreto se incrementa de manera constante cuando se incrementa la cantidad de aditivo de grafeno presente en el concreto, sobre todo cuando el concreto es de mayor edad, este incremento al igual que en la resistencia a compresión, comienza a ser menor entre los 0.50% y los 0.70% de aditivo de grafeno por peso del cemento, lo que también indica que la transición a 0.80% ya no es tan relevante, ya que se utilizaría más aditivo para obtener los mismos resultados que a los 0.70%, lo que se explica se puede ver reflejado en las Figuras 15 a la 18 y la Tabla 21, así como en los resultados estadísticos que se muestran en el presente acápite.

Se puede observar el importante incremento porcentual en cuanto a la resistencia a flexión a los 7 días, dando un valor de 10.66% con respecto al valor de f'_c de diseño de 34.32 Mpa (350 kg-f/cm²), el diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.50% en peso de cemento, lo que indica el alto grado de resistencia a flexión inicial alcanzada con este porcentaje de aditivo; a su vez comparando el mismo valor (34.32 Mpa – 350 kg-f/cm²) con la mezcla con aditivo de grafeno al 0.70% en peso del cemento, significa un 12.72%, ahora bien la diferencia entre la resistencia a flexión sin la utilización de aditivo de grafeno que corresponde a un valor de 2.82 Mpa y con la mezcla que alcanza el mayor valor (0.70% de aditivo de grafeno en peso del cemento) que tiene un valor de 4.37 Mpa, es un 1.55 Mpa.

A los 14 días la mayor resistencia a flexión alcanzada es de 4.70 Mpa, que corresponde a un 13.38% del valor de 34.32 (350 kg-f/cm²), que es del diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.70% en peso del cemento, que, ahora comparado con la mezcla sin aditivo de grafeno que tiene un

valor de 3.20 Mpa (9.32% con respecto a los 34.32 Mpa del f'_c de diseño) la diferencia es de un 1.50 Mpa.

A los 28 días la mayor resistencia a flexión alcanzada es de 4.91 Mpa, correspondiente a un 14.30% del valor 34.32 (350 kg-f/cm²), que también como en los anteriores casos es del diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.70% en peso del cemento, y comparándolo con la mezcla sin aditivo de grafeno con valor de 3.48 Mpa (10.13% con respecto a los 34.32 Mpa del f'_c de diseño) la diferencia es de 1.43 Mpa.

Ahora bien, se puede ver la disminución de la diferencia de 1.55 Mpa (7 días), 1.50 Mpa (14 días) y 1.43 Mpa (28 días), lo cual evidencia que el tope correspondiente en cuanto al aditivo se mantiene con el diseño de concreto de 0.70% de aditivo de grafeno en peso del cemento, incluso observando los resultados estadísticos con la prueba de Tukey, que para las diferentes edades del concreto con y sin aditivo de grafeno, el porcentaje que incrementa la resistencia a flexión del diseño de concreto es al 0.70% de aditivo de grafeno en peso del cemento.

5.3. Contrastación de la hipótesis

La hipótesis que se planteó es la siguiente: *La utilización de aditivo de grafeno optimiza el diseño de concreto para pavimentos rígidos en un 10%, al incrementar en ese porcentaje su resistencia mecánica.* Entonces para poder contrastar la hipótesis se recurrió a la evaluación del diseño de concreto, con dos dimensiones analizadas como son la resistencia a compresión y flexión del concreto elaborado en laboratorio sin y con aditivo de grafeno.

- La resistencia a compresión del diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.70% en peso del cemento a los 7 días, es de 38.92 Mpa (396.90 kg-f/cm²), supera a los demás porcentajes de aditivo de grafeno a la misma edad, y es 13.40% superior; a los 14 días es de 42.18 Mpa (430.07 kg-f/cm²), y es 22.88% superior; por último a los 28 días es de 44.67 Mpa (455.54 kg-f/cm²), y es 30.15% superior, en los tres casos se tiene como base la resistencia de diseño (f'_c de diseño) a los 28 días de 34.32 Mpa (350 kg-f/cm²).
- La resistencia a flexión del diseño de concreto con aditivo de grafeno al 0.70% en peso del cemento a los 7 días, es de 4.37 Mpa (44.53 kg-f/cm²), supera a los demás porcentajes de aditivo de grafeno a la misma edad, y es 12.72% superior;

a los 14 días es de 4.70 Mpa (47.88 kg-f/cm²), y es un 13.68% superior; por último a los 28 días es de 4.91 Mpa (50.05 kg-f/cm²), y es un 14.30% superior, en los tres casos se tiene como base la resistencia de diseño (f'_c de diseño) a los 28 días de 34.32 Mpa (350 kg-f/cm²).

Se recurre a comparar con la resistencia los 0.70%, porque de acuerdo a las Figuras 11 a la 18 y Tablas 20 y 21, y los resultados de las pruebas estadísticas, es el porcentaje que aumenta la resistencia mecánica (compresión y flexión), refiriéndonos al enunciado de la hipótesis, la resistencia mecánica del diseño de concreto empleado en pavimentos rígidos supera el 10%, **por lo tanto, se cumple la hipótesis de investigación.**

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Utilizando el aditivo de grafeno se optimizó el diseño del concreto empleado en pavimentos rígidos, teniendo en cuenta que para la presente investigación el optimizar implica maximizar su beneficio, en este caso con los mismos materiales incrementar su resistencia mecánica, la cual superó el 10% de incremento en su resistencia mecánica planteada en la hipótesis de investigación.

- El incremento de la resistencia mecánica a compresión es progresivo conforme se incrementa el porcentaje de aditivo en la mezcla, el máximo valor para la presente investigación ocurre con el porcentaje de 0.70% a los 28 días que en comparación con el concreto patrón $f'c = 34.32 \text{ Mpa}$ (350 kg-f/cm^2) alcanza un 30.15% más de resistencia a compresión, sobrepasando el 10% previsto para esta resistencia. Debido a que se llegó a investigar hasta el porcentaje de 0.70% en peso de cemento de aditivo de grafeno, se consideró para la presente investigación que este porcentaje es el que mejor optimiza el diseño de concreto empleado en pavimentos rígidos, logrando una mayor resistencia mecánica a compresión, sin embargo, de ampliarse los porcentajes podría incrementarse esta resistencia. Observando la tabla resumen N° 46, se tiene que el coeficiente de correlación es muy cercano a 1, teniendo una correlación positiva, aumentando la cantidad de grafeno en el diseño de concreto su resistencia mecánica a la compresión aumenta, para esta investigación se indica que se optimiza, ya que con la misma cantidad de materiales aumenta la resistencia mecánica a la compresión, con el máximo porcentaje evaluado, en este caso 0.70% en peso de cemento.

Tabla 46: Ecuación y coeficiente de correlación entre el porcentaje de aditivo de grafeno en el diseño de concreto y su resistencia mecánica a compresión

Días	Cantidades (%)	Compresión (Mpa)	Compresión (kg-f/cm ²)	Coefficiente de correlación (Compresión)	Ecuación de correlación (Compresión)
7d	0.00	28.10	286.55	R2 = 0.9987	y=-0.219x ² +3.7322x+24.455
	0.30	30.76	313.71		
	0.40	33.76	344.27		
	0.50	35.98	366.9		
	0.60	37.65	383.88		
	0.70	38.92	396.9		
14d	0.00	31.91	325.38	R2 = 0.9998	y=-0.3211x ² +4.2881x+27.958
	0.30	35.24	359.34		
	0.40	38.01	387.63		
	0.50	39.96	407.44		
	0.60	41.29	421.02		
	0.70	42.18	430.07		
28d	0.00	34.68	353.68	R2 = 0.9993	y=-0.2477x ² +3.7399x+31.132
	0.30	37.46	381.97		
	0.40	40.23	410.27		
	0.50	42.18	430.07		
	0.60	43.56	444.22		
	0.70	44.67	455.54		

- El incremento de la resistencia mecánica a flexión también es progresivo conforme se incrementa el porcentaje de aditivo en la mezcla, el máximo valor para la presente investigación ocurre de igual manera con el porcentaje de 0.70% a los 28 días que en comparación con el concreto patrón $f^c = 34.32$ Mpa (350 kg-f/cm²), y la resistencia para su Módulo de rotura = 3.43 Mpa (35 kg-f/cm², siendo 10% del f^c) alcanza un 41.12% más de resistencia a flexión, sobrepasando el 10% previsto para esta resistencia. Debido a que se llegó a investigar hasta el porcentaje de 0.70% en peso de cemento de aditivo de grafeno, se consideró para la presente investigación que este porcentaje es el que mejor optimiza el diseño de concreto empleado en pavimentos rígidos, logrando una mayor resistencia mecánica a flexión, sin embargo, de ampliarse los porcentajes podría incrementarse esta resistencia. Observando la tabla resumen N° 47, se tiene que el coeficiente de correlación es muy cercano a 1, teniendo una correlación positiva, aumentando la cantidad de grafeno en el diseño de concreto su resistencia mecánica a la flexión aumenta, para esta investigación se indica que se optimiza, ya que con la misma cantidad de materiales aumenta la

resistencia mecánica a la flexión, con el máximo porcentaje evaluado, en este caso 0.70% en peso de cemento.

Tabla 47: Ecuación y coeficiente de correlación entre el porcentaje de aditivo de grafeno en el diseño de concreto y su resistencia mecánica a flexión.

Días	Cantidades (%)	Flexión (Mpa)	Flexión (kg-f/cm ²)	Coefficiente de correlación (Flexión)	Ecuación de correlación (Flexión)
7d	0.00	2.82	28.79	R2 = 0.9995	$y = -0.0364x^2 + 0.5667x + 2.2823$
	0.30	3.25	33.11		
	0.40	3.66	37.32		
	0.50	3.98	40.54		
	0.60	4.20	42.88		
	0.70	4.37	44.53		
14d	0.00	3.20	32.63	R2 = 0.9995	$y = -0.0496x^2 + 0.6421x + 2.6177$
	0.30	3.72	37.91		
	0.40	4.11	41.88		
	0.50	4.38	44.71		
	0.60	4.57	46.63		
	0.70	4.70	47.88		
28d	0.00	3.48	35.47	R2 = 0.9996	$y = -0.0432x^2 + 0.5851x + 2.9429$
	0.30	3.95	40.24		
	0.40	4.32	44.06		
	0.50	4.59	46.78		
	0.60	4.77	48.68		
	0.70	4.91	50.05		

6.2. Recomendaciones

- Realizar investigaciones relacionadas a la utilización del aditivo de grafeno, en elementos armados como columnas y vigas, verificando la interacción del aditivo con las armaduras en su interior.
- Realizar investigaciones con otras nanoadiciones y su comparativa con el aditivo de grafeno.
- Realizar investigaciones a partir del 0.70% de aditivo de grafeno en peso del cemento e incrementar la concentración de aditivo de grafeno para ver cuál es el límite máximo de beneficio.

- Realizar investigaciones acerca de la influencia del aditivo de grafeno en otro tipo de pavimentos (flexible y/o mixto)
- Realizar investigaciones complementarias que amplíen el uso del aditivo de grafeno aplicado al concreto en pavimentos rígidos.
- Realizar estudios de la influencia del aditivo de grafeno con agregados de otras zonas, incluido agregado reciclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO, F. (2017). *Tecnología del concreto*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú
- ALVARADO, J. & ROQUE, B. (2020). *Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'c$ 210 kg/cm² a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. Universidad de San Martín de Porres. Lima. Perú.
- ASTM Internacional (2020). Norma ASTM C 39. Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. USA.
- ASTM Standard C1701/C1701M (2021). "Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/C1701_C1701M-09, <www.astm.org> (21 de diciembre del 2023)
- ASTM Standard C672/C672M (2017). "Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals," ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/C0672_C0672M-03, <www.astm.org> (21 de diciembre del 2023)
- BARTRA, D. (2019). *Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto $f'c$ 210 kg/cm² Tarapoto, 2018*. Universidad César Vallejo. Tarapoto. Perú.
- CCOPA, H. (2017). *Efecto del Grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- CHOQUE, L. (2021). Tesis Doctoral. *Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto $f'c = 210$ kg/cm², agregando grafeno*. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima. Perú.
- CHU, H., ZHANG, Y., WANG, F., FENG, T., WANG, L., & WANG, D. (2020). *Efecto del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas y durabilidad de un concreto de ultra alto desempeño, preparado a partir de arena reciclada*. *Nanomaterials*, 10(9), 1718. <<https://doi.org/10.3390/nano10091718>> (21 de diciembre del 2023)

- DE LA CRUZ, W & QUISPE, W (2014) *Influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho*. Universidad Nacional de Huancavelica. Ayacucho. Perú.
- DE LA PEÑA, P.; GARCÍA, A.; CASTELLOTE, M. & JIMÉNEZ, E. (2017). *La Nanotecnología en la arquitectura: el grafeno*. Universidad Politécnica de Madrid & Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. Madrid. España.
- DEVI, S. & KHAN, R. (2020). *Efecto del óxido de grafeno sobre el rendimiento mecánico y de durabilidad del hormigón*. Journal of Building Engineering. Vol. 27, enero. <<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101007>> (21 de diciembre del 2023).
- DIMOV, D.; AMIT, I.; GORRIE, O.; BARNES, M. D.; TOWNSEND, N.J.; NEVES, A.I.S.; WITHERS, F.; RUSSO, S. & CRACIUN, M. F. (2018) *Nano ingeniería del Grafeno de Ultra Alto Rendimiento - Compuestos de Concreto para aplicaciones multifuncionales*. Facultad de Ingeniería, Matemáticas y Ciencias Físicas. Universidad de Exeter. Reino Unido.
- GUTIÉRREZ, K., MORALES, O., CHÁVEZ, R., & LUNA, G. A. (2021). *Investigación científica del grafeno en la industria de la construcción (estado del arte)*. Ingeniería Industrial, 11-24. <<https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n.5798>> (21 de diciembre del 2023)
- GRAPHENANO SMART MATERIALS. Murcia, España. 2018. Obtenido de <<https://www.graphenanosmartmaterials.com/en/inicio/>> (21 de diciembre del 2023).
- HARMSSEN, T. (2019). *Diseño de estructuras de concreto armado (5ta. Ed.)*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.
- HERNÁNDEZ, C. & QUIROZ, D. (2015). *Grafeno: Estado del Arte*. Tesis de Maestría en Ciencias en Nanotecnología. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Nezahualcóyotl, México. Ciudad de México. México.
- HINESTROZA, J. & URREGO, M. (2021). *Análisis del óxido de grafeno usado como aditivo para el concreto*. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Civil. Universidad Antonio Nariño. Sede Pereira, Risaralda, Colombia.

- LEZAMA, J. (2016) *Tecnología del Concreto*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú.
- MALAVAR, W. E. (2017). *Optimización del diseño estructural de pavimentos de concreto mediante el uso de sobrecapas de refuerzo, para la: Av. Mario Urteaga-carril noreste (entre Óvalo El Inca y Jr. Cumbe Mayo) de la ciudad de Cajamarca, 2016*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú.
- MARTÍNEZ, R. (2012). *Evaluación de la resistencia a compresión in-situ en estructuras*. Madrid. España.
- MORALES, P. (2012). *Tamaño Necesario de la muestra*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. España.
- MUÑOZ, A. & PACHECO, D (2017). *Estudio para la optimización del diseño de un concreto autocompactante reforzado con fibras de acero*. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. Perú.
- NANOGRAPHENE INC. New York, EE.UU. (2019). <<https://nanographene.net/>> (21 de diciembre del 2023).
- NAVARRO, E. & FORERO, H. (2017) Trabajo de Grado: *Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto con Nanotubos de Carbono*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.
- PEÑARES, R. & PAHUACHO, J. (2020). *Incorporación del grafeno para lograr resistencias mayores a partir del concreto $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$, Lima 2019*. Universidad César Vallejo. Lima. Perú.
- RECUENCO, E. (2017) *Firmes Y Pavimentos De Carreteras Y Otras Infraestructuras (2da ed.)*. Garceta Grupo Editorial, Madrid. España.
- SÁNCHEZ, M. (2023). Tesis: *Nivel De Servicio De La Avenida San Martín De Porres, Ubicada Entre La Avenida Argentina Y El Jirón Los Tulipanes Cajamarca, Aplicando La Metodología Del Hcm 2010*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú.

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA (2013)

Monografía: *Aplicaciones del Grafeno*. Ministerio de Defensa. Madrid. España.

SURAHYO, A (2019) *Concrete Construction – Practical Problems and Solutions*.

Springer Nature Switzerland. Cham. Switzerland.

VÁSQUEZ, E. (2022). *Evaluación de la incorporación de óxido de grafeno en muestras de cemento Portland Tipo I y su influencia en el incremento de la resistencia a la compresión*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN. CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES (2016). *Informe In Extenso. Presente y Futuro de la Nanotecnología en el Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú. Obtenido de <<http://industrial.unmsm.edu.pe/investigacionfii/wp-content/uploads/2017/09/161701055-Informe-in-Extenso-Arroyo-Salazar.pdf>> (21 de diciembre del 2023).

APÉNDICES

APÉNDICE I: DATOS DE LABORATORIO

Tabla 48: *Ensayo análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 01 (NTP 400.012 / ASTM C-136)*

Tamiz N°	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido		Porcentaje que Pasa (%)	Requisitos Granulométricos del Agregado Fino	
			Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
N°4	4.75	107.40	10.74%	10.74%	89.26%	89.00%	100.00%
N°8	2.36	123.40	12.34%	23.08%	76.92%	65.00%	100.00%
N°16	1.18	184.20	18.42%	41.50%	58.50%	45.00%	100.00%
N°30	0.60	204.20	20.42%	61.92%	38.08%	25.00%	80.00%
N°50	0.30	175.10	17.51%	79.43%	20.57%	5.00%	48.00%
N°100	0.15	123.50	12.35%	91.78%	8.22%	0.00%	12.00%
N°200	0.075	57.00	5.70%	97.48%	2.52%	0.00%	0.00%
Cazoleta		25.20	2.52%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total		1000.00	Módulo de Fineza Agregado Fino:			3.085	

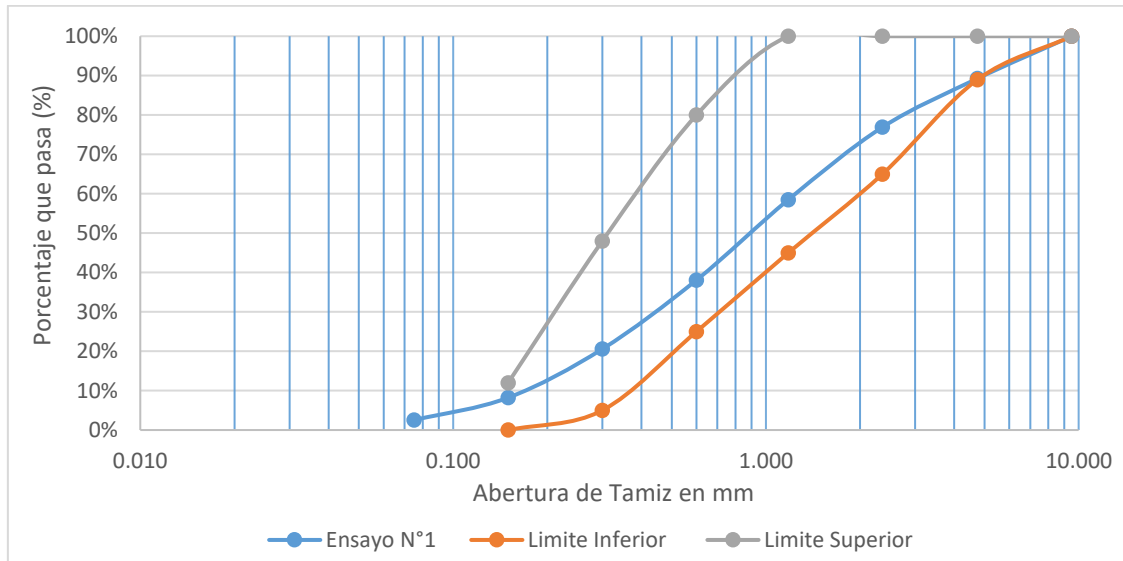


Figura 19: Curva granulométrica del agregado fino – Gradación “M” (Ensayo N°01)

Tabla 49: Ensayo análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 02 (NTP 400.012 / ASTM C-136)

Tamiz N°	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido		Porcentaje que Pasa (%)	Requisitos Granulométricos del Agregado Fino	
			Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
N°4	4.75	104.20	10.42%	10.42%	89.58%	89.00%	100.00%
N°8	2.36	119.20	11.92%	22.34%	77.66%	65.00%	100.00%
N°16	1.18	190.30	19.03%	41.37%	58.63%	45.00%	100.00%
N°30	0.60	205.40	20.54%	61.91%	38.09%	25.00%	80.00%
N°50	0.30	170.50	17.05%	78.96%	21.04%	5.00%	48.00%
N°100	0.15	128.20	12.82%	91.78%	8.22%	0.00%	12.00%
N°200	0.075	58.80	5.88%	97.66%	2.34%	0.00%	0.00%

Cazoleta	23.40	2.34%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
----------	-------	-------	---------	-------	-------	-------

Total 1000.00 **Módulo de Fineza Agregado Fino: 3.068**

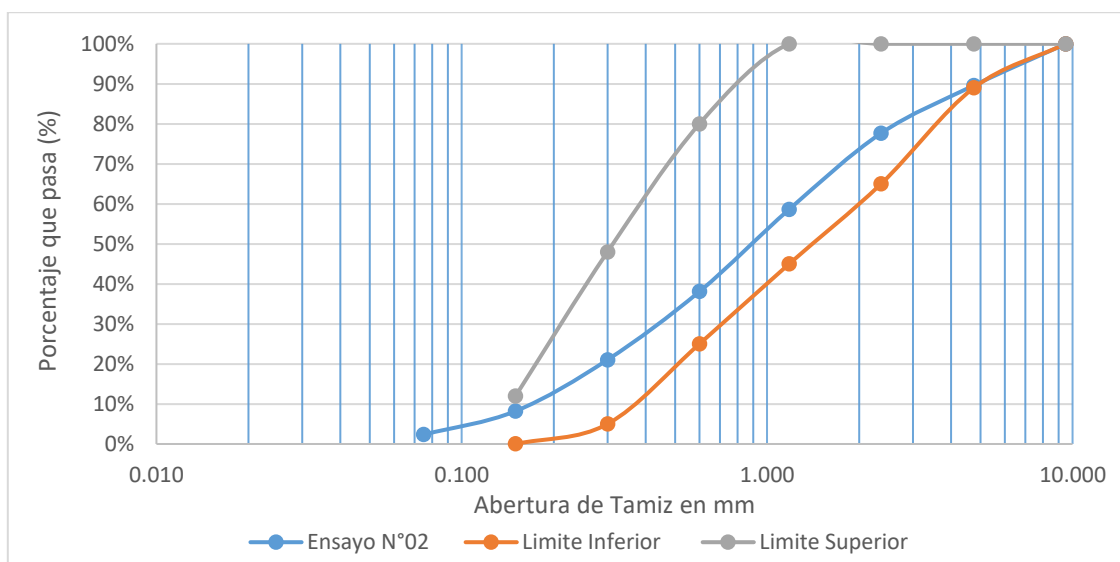


Figura 20: Curva granulométrica del agregado fino – Gradación “M” (Ensayo N°02)

Tabla 50: Ensayo análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 03 (NTP 400.012 / ASTM C-136)

Tamiz N°	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido		Porcentaje que Pasa (%)	Requisitos Granulométricos del Agregado Fino	
			Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
N°4	4.75	109.10	10.91%	10.91%	89.09%	89.00%	100.00%
N°8	2.36	129.20	12.92%	23.83%	76.17%	65.00%	100.00%
N°16	1.18	174.20	17.42%	41.25%	58.75%	45.00%	100.00%
N°30	0.60	194.20	19.42%	60.67%	39.33%	25.00%	80.00%
N°50	0.30	190.20	19.02%	79.69%	20.31%	5.00%	48.00%

N°100	0.15	121.20	12.12%	91.81%	8.19%	0.00%	12.00%
N°200	0.075	53.50	5.35%	97.16%	2.84%	0.00%	0.00%
Cazoleta		28.40	2.84%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total		1000.00		Módulo de Fineza Agregado Fino:			3.082

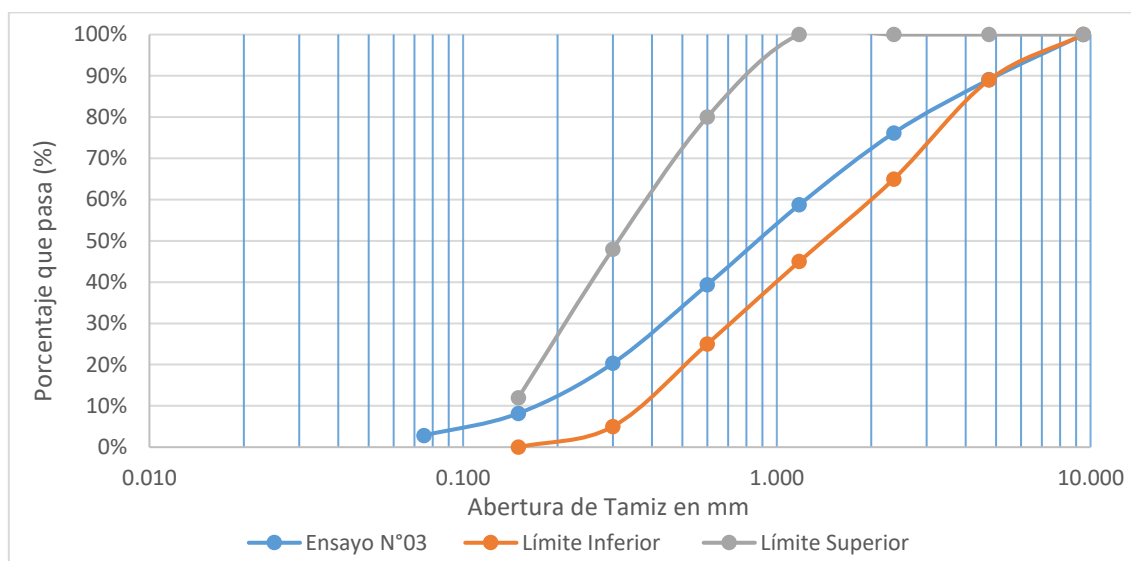


Figura 21: Curva granulométrica del agregado fino – Gradación “M” (Ensayo N°03)

Tabla 51: Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 01 (ASTM C 136 / NTP 400.012)

Tamiz N°	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido		Porcentaje que Pasa (%)	Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso Huso N°67 A.S.T.M. C 33
			Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00% / 100.00%
1"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00% / 100.00%
3/4"	19.00	488.00	4.88%	4.88%	95.12%	90.00% / 100.00%
1/2"	12.50	4983.00	49.83%	54.71%	45.29%	45.00% / 70.00%

3/8"	9.50	2454.00	24.54%	79.25%	20.75%	20.00%	55.00%
N°4	4.75	2003.00	20.03%	99.28%	0.72%	0.00%	10.00%
N°8	2.36	22.00	0.22%	99.50%	0.50%	0.00%	5.00%
Cazoleta		50.00	0.50%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Total 10000.00 **Módulo de Fineza Agregado Grueso: 6.829**

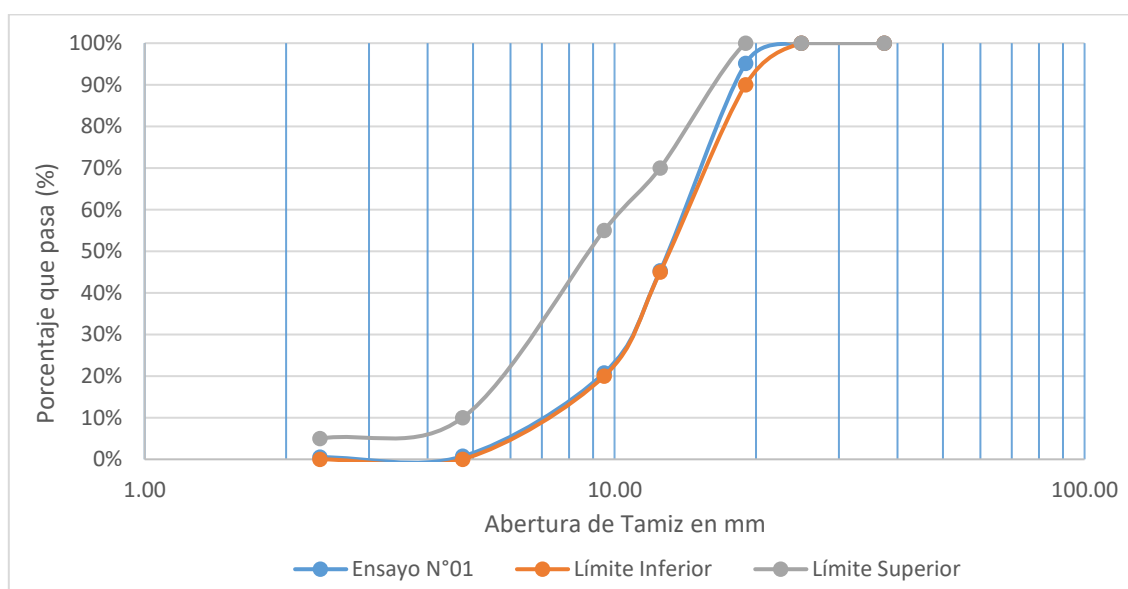


Figura 22: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso N° 67 (Ensayo N°01)

Tabla 52: Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 02 (ASTM C 136 / NTP 400.012)

Tamiz N°	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido		Porcentaje que Pasa (%)	Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso Huso N°67 A.S.T.M. C 33
			Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00% 100.00%
1"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00% 100.00%

3/4"	19.00	476.00	4.76%	4.76%	95.24%	90.00%	100.00%
1/2"	12.50	4995.00	49.95%	54.71%	45.29%	45.00%	70.00%
3/8"	9.50	2312.00	23.12%	77.83%	22.17%	20.00%	55.00%
N°4	4.75	2145.00	21.45%	99.28%	0.72%	0.00%	10.00%
N°8	2.36	29.00	0.29%	99.57%	0.43%	0.00%	5.00%
Cazoleta		43.00	0.43%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Total 10000.00 **Módulo de Fineza Agregado Grueso: 6.814**

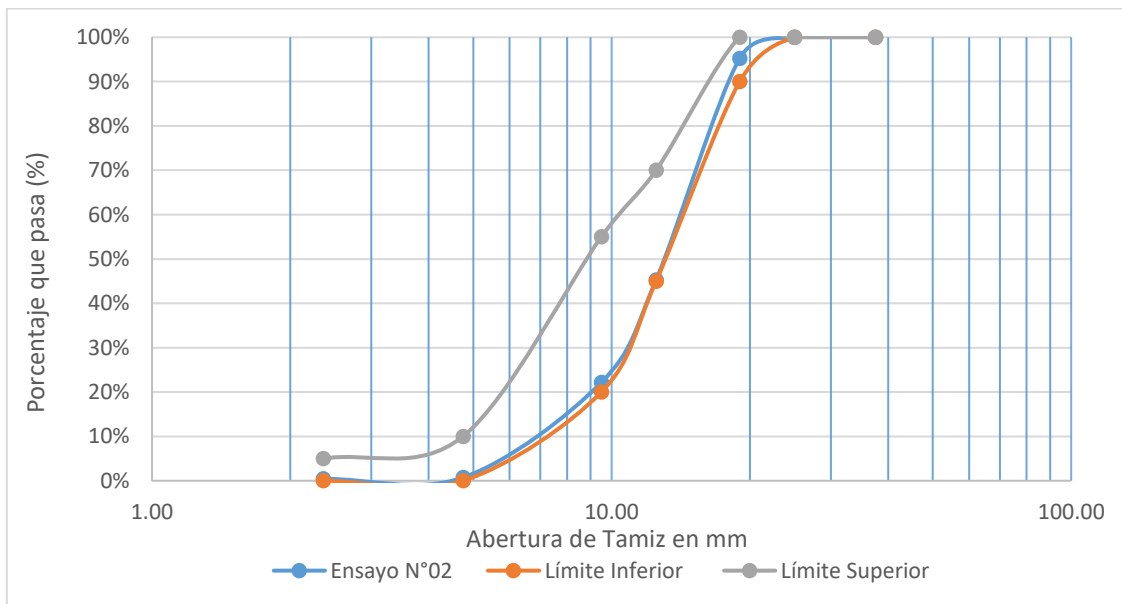


Figura 23: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso N° 67 (Ensayo N°02)

Tabla 53: *Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 03 (ASTM C 136 / NTP 400.012)*

Tamiz N°	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido		Porcentaje que Pasa (%)	Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso Huso N°67 A.S.T.M. C 33		
			Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)				
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	
1"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	
3/4"	19.00	481.00	4.81%	4.81%	95.19%	90.00%	100.00%	
1/2"	12.50	4989.00	49.89%	54.70%	45.30%	45.00%	70.00%	
3/8"	9.50	2455.00	24.55%	79.25%	20.75%	20.00%	55.00%	
N°4	4.75	1998.00	19.98%	99.23%	0.77%	0.00%	10.00%	
N°8	2.36	29.00	0.29%	99.52%	0.48%	0.00%	5.00%	
Cazoleta		48.00	0.48%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Total		10000.00	Módulo de Fineza Agregado Grueso:			6.828		

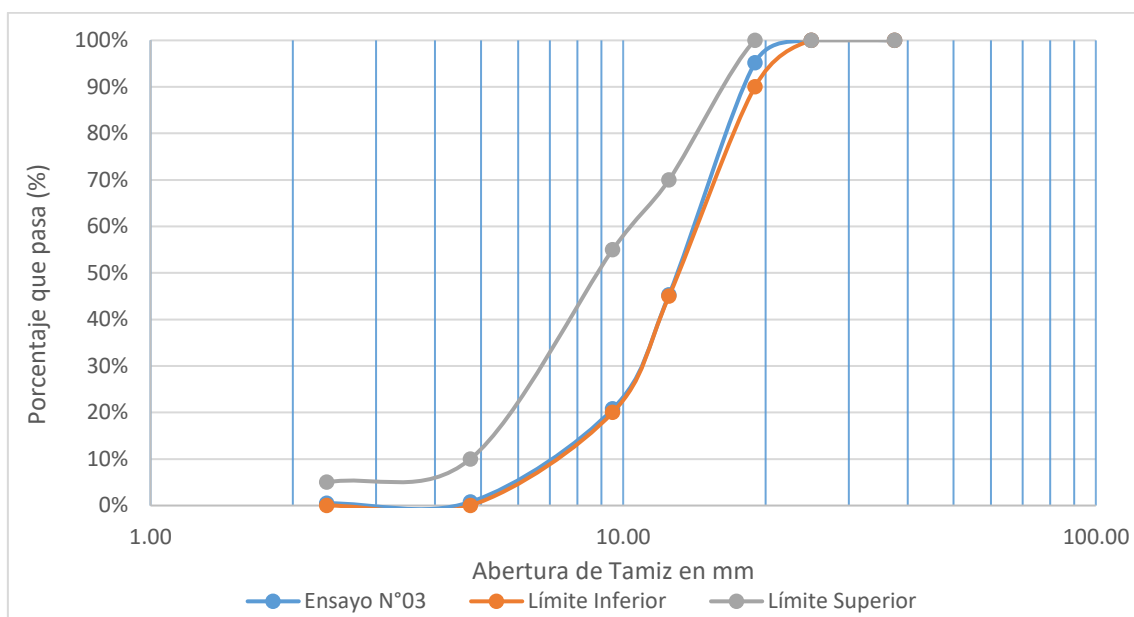


Figura 24: Curva granulométrica del agregado grueso – Huso N° 67 (Ensayo N°03)

Tabla 54: Ensayo de densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (ASTM C128 / NTP 400.022)

Datos	1°	2°	3°
Peso Agregado sss (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso Fiola (gr)	158.10	158.10	158.10
Peso Agregado + Fiola (gr)	657.50	657.50	657.50
Peso Fiola + Agregado + Agua (gr)	970.40	970.40	970.70

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Wo = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	492.30	491.80	492.10	.....
V = Volumen del frasco (cm3)	500.00	500.00	500.00	.....
Va = Peso en (gr) o Volumen (cm3) del agua añadida al frasco	311.60	311.50	311.70	.....
a) Peso Específico de masa Pem = Wo / (V-Va)	2.613	2.609	2.613	2.612
b) Peso Específico de Masa Saturada con superficie seca Pesss = 500 / (V- Va)	2.654	2.653	2.655	2.654
c) Peso Específico Aparente Pea = Wo / [(V-Va)-(500-Wo)]	2.724	2.728	2.728	2.727
d) Absorción Ab = [(500-Wo) x 100 / Wo]	1.564	1.667	1.605	1.612

Tabla 55: Ensayo de densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (ASTM C127 / NTP 400.021)

Datos	1°	2°	3°	
Peso Malla Sumergida (gr)	2279.00	2279.00	2279.00	
Peso Malla Sumergida + Grava Sumergida (gr)	4124.00	4130.00	4121.00	

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
A = Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)	2975.00	2973.00	2975.00	.....
B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	3000.00	3000.00	3000.00	.....
C = Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	1870.00	1878.00	1867.00	.....
a) Peso Específico de masa $P_e = A / (B-C)$	2.633	2.650	2.626	2.636
b) Peso Específico de Masa Saturada con superficie seca $P_{ess} = B / (B- C)$	2.655	2.674	2.648	2.659
c) Peso Específico Aparente $P_{ea} = A / (A-C)$	2.692	2.715	2.685	2.697
d) Absorción $Ab = [(B-A) \times 100 / A]$	0.840	0.908	0.840	0.863

Tabla 56: Ensayo cálculo del peso específico del agua - Ensayo cálculo del factor (f) para la densidad (peso unitario) del agregado fino y grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)

Datos	1°	2°	3°	Promedio
Peso Fiola (gr)	158.10	158.10	158.10	.....
Peso Fiola + Agua (gr)	657.10	657.10	657.20	.....
Volumen de la Fiola (cm ³)	500.00	500.00	500.00	.....
Peso Específico del Agua (gr/cm ³)	0.998	0.998	0.998	0.998
Peso Específico del Agua (kg/m ³)	998.00	998.00	998.20	998

Tabla 57: Ensayo cálculo del factor (f) para la densidad (peso unitario) del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)

Datos	1°	2°	3°	Promedio
Peso del Recipiente (kg)	3.879	3.879	3.879	.....
Peso Recipiente + Agua (kg)	6.829	6.829	6.828	.....
Peso Agua (Kg)	2.950	2.950	2.949	.....
Factor (1/m ³)	338.33	338.33	338.44	338.366

Tabla 58: *Ensayo de densidad (peso unitario suelto) del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso del Recipiente (Kg)	3.879	3.879	3.879	.....
Peso del Recipiente + Muestra Suelta (Kg)	8.910	8.916	8.914	.....
Peso de la Muestra Suelta (Kg)	5.031	5.037	5.035	.....
Factor (1/m3)	338.328	338.328	338.442	338.366
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1702.319	1704.349	1703.672	1703.447

Tabla 59: *Ensayo de densidad (peso unitario compactado) del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso del Recipiente (Kg)	3.879	3.879	3.879	.....
Peso del Recipiente + Muestra Compactada (Kg)	9.325	9.337	9.329	.....
Peso de la Muestra Compactada (Kg)	5.446	5.458	5.450	.....
Factor (1/m3)	338.328	338.328	338.442	338.366
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1842.741	1846.801	1844.094	1844.545

Tabla 60: *Ensayo cálculo del factor (f) para la densidad (peso unitario) del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)*

Datos	1°	2°	3°	Promedio
Peso del Recipiente (kg)	4.198	4.198	4.198	.....
Peso Recipiente + Agua (kg)	13.893	13.892	13.893	.....
Peso Agua (Kg)	9.695	9.694	9.695	.....
Factor (1/m3)	102.95	102.96	102.95	102.950

Tabla 61: *Ensayo de densidad (peso unitario suelto) del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso del Recipiente (Kg)	4.198	4.198	4.198	.....
Peso del Recipiente + Muestra Suelta (Kg)	18.180	18.175	18.171	.....
Peso de la Muestra Suelta (Kg)	13.982	13.977	13.973	.....
Factor (1/m ³)	102.947	102.957	102.947	102.950
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1439.448	1438.933	1438.521	1438.968

Tabla 62: *Ensayo de densidad (peso unitario compactado) del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso del Recipiente (Kg)	4.198	4.198	4.198	.....
Peso del Recipiente + Muestra Compactada (Kg)	19.038	19.042	19.037	.....
Peso de la Muestra Compactada (Kg)	14.840	14.844	14.839	.....
Factor (1/m ³)	102.947	102.957	102.947	102.950
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1527.779	1528.191	1527.676	1527.882

Tabla 63: *Ensayo partículas <200 para el agregado fino (ASTM C117 / NTP 400.018)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso de la Muestra Original Agregado Fino (gr)	500.00	500.00	500.00	.....
Peso Muestra Lavada (gr)	487.50	475.20	492.30	.....
Peso del Material que Pasa el Tamiz N°200 (gr)	12.50	24.80	7.70	.....
Porcentaje de Material que Pasa el Tamiz N°200	2.500	4.960	1.540	3.000

Tabla 64: *Ensayo partículas <200 para el agregado grueso (ASTM C117 / NTP 400.018)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso de la Muestra Original Agregado Grueso (Kg)	3.000	3.000	3.000	.....
Peso Muestra Lavada (Kg)	2.985	2.987	2.992	.....
Peso del Material que Pasa el Tamiz N°200 (Kg)	0.015	0.013	0.008	.....
Porcentaje de Material que Pasa el Tamiz N°200	0.500	0.433	0.267	0.400

Tabla 65: *Ensayo contenido de humedad para el agregado fino (ASTM C566 / NTP 339.185)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso de Tara (gr)	52.10	73.40	87.70	.....
Peso del Tara + Muestra Húmeda Agregado Fino (gr)	273.40	304.20	294.60	.....
Peso del Tara + Muestra Seca Agregado Fino (gr)	268.40	296.50	288.70	.....
Peso del Agua (gr)	5.00	7.70	5.90	.....
	216.30	223.10	201.00	.....

Peso de la Muestra Seca
Agregado Fino (gr)

Contenido de Humedad (%)	2.312	3.451	2.935	2.90
--------------------------	-------	-------	-------	------

Tabla 66: *Ensayo contenido de humedad para el agregado grueso (ASTM C566 / NTP 339.185)*

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Peso de Tara (gr)	165.40	154.20	158.80	.....
Peso del Tara + Muestra Húmeda Agregado Grueso (gr)	625.10	489.00	574.90	.....
Peso del Tara + Muestra Seca Agregado Grueso (gr)	619.70	485.10	569.80	.....
Peso del Agua (gr)	5.40	3.90	5.10	.....
Peso de la Muestra Seca Agregado Grueso (gr)	454.30	330.90	411.00	.....
Contenido de Humedad (%)	1.189	1.179	1.241	1.20

Tabla 67: *Resistencia al desgaste por abrasión (ASTM C131 / NTP 400.019)*

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (Rev/min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máximo Nominal	Peso de la Muestra (gr)
B	Máquina de Los Ángeles	11	30-33	500	3/4"	5000.00

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
Wo = Peso Inicial de la Muestra Seca al Horno (gr)	5000.00	5000.00	5000.00	.....
Peso del Recipiente + Muestra Seca (gr)	4294.000	4289.000	4308.000	.....

Recipiente (gr)	742.000	742.000	742.000	.....
Wf = Peso Final de la Muestra Seca (gr)	3552.000	3547.000	3566.000	3555.000
Abrasión (%)	28.960	29.060	28.680	28.900

Tabla 68: Características físicas del agregado fino

Resumen - Agregado Fino		
Peso Específico de Masa	2.612	gr/cm ³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.654	gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.727	gr/cm ³
Peso Unitario Seco Suelto	1703.447	Kg/cm ³
Peso Unitario Seco Compactado	1844.545	Kg/cm ³
Contenido de Humedad	2.899	%
Absorción	1.612	%
Módulo de Finura	3.078	
Porcentaje que pasa la Malla N°200	3.000	%

Tabla 69: *Características físicas del agregado grueso*

Resumen - Agregado Grueso		
Perfil del Agregado	Angular	
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico de Masa	2.636	gr/cm ³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.659	gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.697	gr/cm ³
Peso Unitario Seco Suelto	1438.968	Kg/cm ³
Peso Unitario Seco Compactado	1527.882	Kg/cm ³
Contenido de Humedad	1.203	%
Absorción	0.863	%
Módulo de Finura	6.824	
Abrasión	28.900	%
Porcentaje que pasa la Malla N°200	0.400	%

APÉNDICE II: DISEÑO DE MEZCLAS

Diseño de Mezcla de Prueba

Diseño de Mezcla: Método de Módulo de Finura (Mezcla de Prueba)

I. Selección de la Resistencia Promedio

Resistencia a la compresión (f_c) = 350 kg/cm²
 $f_{cr} = f_c * 1.2$
 $f_{cr} = 420.00$ kg/cm²

II. Característica del cemento

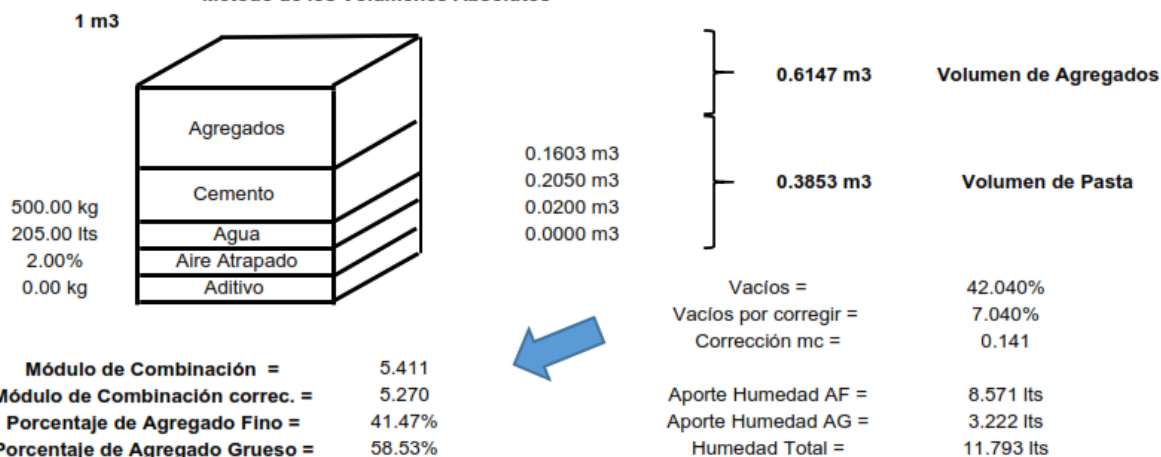
Tipo de Cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo I**
 Peso Específico del Cemento = 3.12 gr/cm³

III. Características de los Agregados Cantera: La Victoria

	<u>Agregado Fino</u>	<u>Agregado Grueso</u>
Peso Específico de Masa	2.612 gr/cm ³	2.636 gr/cm ³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.654 gr/cm ³	2.659 gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.727 gr/cm ³	2.697 gr/cm ³
Peso Unitario Seco Suelto	1703.447 kg/m ³	1438.968 kg/m ³
Peso Unitario Seco Compactado	1844.545 kg/m ³	1527.882 kg/m ³
Contenido de Humedad	2.899 %	1.203 %
Absorción	1.612 %	0.863 %
Módulo de Finura	3.078	6.824
Porcentaje que pasa la Malla N°200	3.000 %	0.400 %
Perfil del Agregado		Angular
Tamaño Máximo Nominal		3/4"
Abrasión		28.900 %

IV. Diseño de Mezcla

Slump = 3" - 4"
Agua de Mezclado = 205 lts/m³
Aire Total = 2.00%
Relación A/C = 0.41
Cemento = 500.00 kg/m³
N° de Bolsas = 11.765 Bolsas/m³

Método de los Volúmenes Absolutos


Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	500.000 kg	Cemento =	500.000 kg
Agua de Mezcla =	205.000 lt	Agua Efectiva =	193.207 lt
Agregado Fino Seco =	665.867 kg	Agregado Fino Humedo =	685.174 kg
Agregado Grueso Seco =	948.462 kg	Agregado Grueso Humedo =	959.869 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%

Proporción en Peso		Proporción en Volumen	
Cemento =	1	Cemento =	1
Agua =	17.40 lt/bolsa	Agua =	17.40 lt/bolsa
Agregado Fino =	1.370	Agregado Fino =	1.173
Agregado Grueso =	1.920	Agregado Grueso =	1.979

Materiales Húmedos Para Una Tanda (0.02 m3)			
Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua Efectiva (lt)
10	13.703	19.197	3.864

Diseño de Mezcla de Prueba

Diseño de Mezcla: Método de Módulo de Finura (Mezcla Patrón)

I. Selección de la Resistencia Promedio

Resistencia a la compresión (f'_c) = 350 kg/cm²
 $f_{cr} = f'_c * 1.2$
 $f_{cr} =$ **420.00 kg/cm²**

II. Característica del cemento

Tipo de Cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo I**
 Peso Específico del Cemento = 3.12 gr/cm³

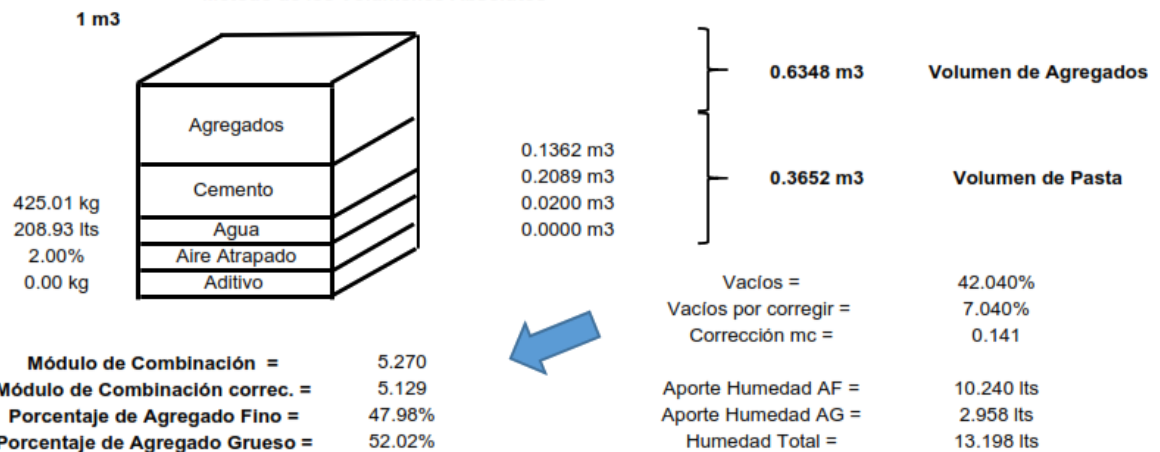
III. Características de los Agregados Cantera: La Victoria

	<u>Agregado Fino</u>	<u>Agregado Grueso</u>
Peso Específico de Masa	2.612 gr/cm ³	2.636 gr/cm ³
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.654 gr/cm ³	2.659 gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.727 gr/cm ³	2.697 gr/cm ³
Peso Unitario Seco Suelto	1703.447 kg/m ³	1438.968 kg/m ³
Peso Unitario Seco Compactado	1844.545 kg/m ³	1527.882 kg/m ³
Contenido de Humedad	2.899 %	1.203 %
Absorción	1.612 %	0.863 %
Módulo de Finura	3.078	6.824
Porcentaje que pasa la Malla N°200	3.000 %	0.400 %
Perfil del Agregado		Angular
Tamaño Máximo Nominal		3/4"
Abrasión		28.900 %

IV. Diseño de Mezcla

Slump = 3"
 Agua de Mezclado = 209 lts/m³
 Aire Total = 2.00%
 Relación A/C = 0.492
 Cemento = 425.01 kg/m³
 N° de Bolsas = 10.00 Bolsas/m³

Método de los Volúmenes Absolutos



Materiales de Diseño		Materiales de Diseño Corregidos por Humedad	
Cemento =	425.013 kg	Cemento =	425.013 kg
Agua de Mezcla =	208.934 kg	Agua Efectiva =	195.736 lt
Agregado Fino Seco =	795.519 kg	Agregado Fino Humedo =	818.584 kg
Agregado Grueso Seco =	870.593 kg	Agregado Grueso Humedo =	881.063 kg
Aire =	2.00%	Aire =	2.00%

Proporción en Peso		Proporción en Volumen	
Cemento =	1	Cemento =	1
Agua =	20.86 lt/bolsa	Agua =	20.86 lt/bolsa
Agregado Fino =	1.926	Agregado Fino =	1.649
Agregado Grueso =	2.073	Agregado Grueso =	2.137

Materiales Húmedos Para 8 Especímenes Cilíndricos (0.0525 m3)			
Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua Efectiva (lt)
22.313	42.976	46.256	10.276

APÉNDICE III: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

Tabla 70: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla de prueba (sin correcciones)*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
E-1	8.561	20.919	12.358	0.151	0.151	0.149	0.301	0.299	0.301	0.00533095	2318.159
E-2	8.584	20.896	12.312	0.149	0.150	0.151	0.300	0.300	0.299	0.00529556	2324.967
E-3	8.579	20.974	12.3952	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2314.860
Promedio del Peso Unitario =											2319.329

Tabla 71: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla corregida por apariencia, asentamiento, agua adicional y contenido de aire*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
E-1	8.560	20.941	12.381	0.151	0.150	0.149	0.300	0.301	0.300	0.00530734	2332.807
E-2	8.577	20.965	12.388	0.150	0.150	0.151	0.301	0.300	0.300	0.00533095	2323.786
E-3	8.569	20.975	12.406	0.149	0.150	0.151	0.300	0.301	0.300	0.00530734	2337.468
Promedio del Peso Unitario =											2331.354

Tabla 72: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla corregida por resistencia*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
E-1	8.564	20.942	12.378	0.150	0.151	0.151	0.301	0.300	0.301	0.00536056	2309.085
E-2	8.580	20.936	12.356	0.150	0.150	0.151	0.300	0.300	0.299	0.00531912	2322.919
E-3	8.575	21.005	12.430	0.150	0.151	0.150	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2331.665
Promedio del Peso Unitario = 2321.223											

Tabla 73: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla patrón sin aditivo de grafeno (0%)*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
7d-0%-E1	8.562	20.945	12.383	0.151	0.151	0.150	0.300	0.300	0.300	0.00534868	2315.151208
7d-0%-E2	8.583	20.929	12.346	0.149	0.150	0.151	0.300	0.300	0.299	0.00529556	2331.387269
7d-0%-E3	8.577	20.991	12.414	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.300	0.00535462	2318.371064
7d-0%-E4	8.529	20.971	12.442	0.151	0.150	0.149	0.298	0.301	0.301	0.00530145	2346.905092
7d-0%-E5	8.612	20.978	12.366	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2309.406845
7d-0%-E6	8.526	20.982	12.456	0.151	0.150	0.149	0.299	0.300	0.301	0.00530145	2349.545879

7d-0%-E7	8.517	20.962	12.445	0.151	0.150	0.152	0.300	0.299	0.301	0.00537237	2316.481599
7d-0%-E8	8.522	20.984	12.462	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2327.335283
14d-0%-E1	8.561	20.958	12.397	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2312.6295
14d-0%-E2	8.580	20.935	12.355	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2307.352545
14d-0%-E3	8.585	20.988	12.403	0.149	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00530734	2336.952001
14d-0%-E4	8.535	20.947	12.412	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2330.875307
14d-0%-E5	8.607	20.959	12.352	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.300	0.00535462	2306.792282
14d-0%-E6	8.533	20.978	12.445	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2324.160455
14d-0%-E7	8.524	20.966	12.442	0.151	0.148	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00531323	2341.701311
14d-0%-E8	8.520	20.977	12.457	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.300	0.00534868	2328.986401
28d-0%-E1	8.558	20.940	12.382	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2309.831288
28d-0%-E2	8.586	20.929	12.343	0.151	0.151	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00537834	2294.945631
28d-0%-E3	8.590	20.986	12.396	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2312.442953
28d-0%-E4	8.531	20.953	12.422	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2317.293188
28d-0%-E5	8.612	20.962	12.35	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2316.658133
28d-0%-E6	8.536	20.979	12.443	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00533687	2331.515715

28d-0%-E7	8.528	20.969	12.441	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.300	0.00533095	2333.728245
28d-0%-E8	8.522	20.975	12.453	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2323.076161

Promedio del Peso Unitario = 2322.647

Tabla 74: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.30%*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	φ1 (m)	φ2 (m)	φ3 (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
7d-0.3%-E1	8.560	20.948	12.388	0.151	0.151	0.150	0.300	0.299	0.300	0.00534274	2318.66231
7d-0.3%-E2	8.586	20.931	12.345	0.149	0.150	0.151	0.300	0.300	0.299	0.00529556	2331.198431
7d-0.3%-E3	8.581	20.985	12.404	0.151	0.151	0.150	0.300	0.301	0.300	0.00535462	2316.503519
7d-0.3%-E4	8.533	20.973	12.44	0.151	0.150	0.151	0.298	0.301	0.301	0.00534868	2325.808046
7d-0.3%-E5	8.618	20.975	12.357	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2307.726054
7d-0.3%-E6	8.522	20.989	12.467	0.151	0.150	0.150	0.299	0.300	0.301	0.00532504	2341.203871
7d-0.3%-E7	8.518	20.96	12.442	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2326.18197
7d-0.3%-E8	8.524	20.978	12.454	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2325.841246
14d-0.3%-E1	8.557	20.959	12.402	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2313.562238

14d-0.3%-E2	8.583	20.939	12.356	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2317.783635
14d-0.3%-E3	8.587	20.982	12.395	0.150	0.150	0.150	0.299	0.301	0.302	0.00531323	2332.85547
14d-0.3%-E4	8.532	20.952	12.42	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2332.377643
14d-0.3%-E5	8.610	20.953	12.343	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00534868	2307.672726
14d-0.3%-E6	8.531	20.982	12.451	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2325.280983
14d-0.3%-E7	8.529	20.971	12.442	0.151	0.151	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00537237	2315.923186
14d-0.3%-E8	8.522	20.981	12.459	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00534274	2331.951382
28d-0.3%-E1	8.566	20.936	12.37	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2307.592717
28d-0.3%-E2	8.581	20.930	12.349	0.151	0.150	0.150	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2316.470549
28d-0.3%-E3	8.592	20.989	12.397	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2312.6295
28d-0.3%-E4	8.535	20.957	12.422	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2317.293188
28d-0.3%-E5	8.617	20.958	12.341	0.150	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00530734	2325.270067
28d-0.3%-E6	8.532	20.975	12.443	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00533687	2331.515715
28d-0.3%-E7	8.530	20.968	12.438	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.300	0.00533095	2333.165495
28d-0.3%-E8	8.525	20.976	12.451	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2322.703066

Promedio del Peso Unitario = 2322.382

Tabla 75: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.40%*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
7d-0.4%-E1	8.565	20.95	12.385	0.151	0.151	0.150	0.300	0.300	0.300	0.00534868	2315.525132
7d-0.4%-E2	8.582	20.934	12.352	0.150	0.149	0.151	0.300	0.299	0.299	0.00528967	2335.117755
7d-0.4%-E3	8.582	20.987	12.405	0.151	0.151	0.150	0.300	0.301	0.300	0.00535462	2316.690273
7d-0.4%-E4	8.536	20.971	12.435	0.151	0.150	0.149	0.300	0.302	0.301	0.00531912	2337.792058
7d-0.4%-E5	8.620	20.979	12.359	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2308.099563
7d-0.4%-E6	8.520	20.981	12.461	0.151	0.150	0.150	0.299	0.300	0.301	0.00532504	2340.077118
7d-0.4%-E7	8.521	20.962	12.441	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2325.995008
7d-0.4%-E8	8.528	20.979	12.451	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2325.280983
14d-0.4%-E1	8.561	20.962	12.401	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2313.37569
14d-0.4%-E2	8.581	20.941	12.36	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2318.533969
14d-0.4%-E3	8.584	20.986	12.402	0.150	0.150	0.150	0.299	0.301	0.302	0.00531323	2334.172935
14d-0.4%-E4	8.535	20.954	12.419	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00534868	2321.881842
14d-0.4%-E5	8.612	20.959	12.347	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00534868	2308.420574

14d-0.4%-E6	8.533	20.988	12.455	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2326.028001
14d-0.4%-E7	8.532	20.972	12.44	0.151	0.149	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00532504	2336.133485
14d-0.4%-E8	8.526	20.975	12.449	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00534274	2330.079682
28d-0.4%-E1	8.564	20.941	12.377	0.151	0.149	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00532504	2324.302584
28d-0.4%-E2	8.583	20.933	12.35	0.151	0.150	0.150	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2316.658133
28d-0.4%-E3	8.590	20.984	12.394	0.151	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00536651	2309.509426
28d-0.4%-E4	8.533	20.959	12.426	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2318.039378
28d-0.4%-E5	8.608	20.962	12.354	0.150	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00534279	2312.27578
28d-0.4%-E6	8.531	20.970	12.439	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2320.464496
28d-0.4%-E7	8.536	20.965	12.429	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2334.067772
28d-0.4%-E8	8.524	20.971	12.447	0.151	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00536651	2319.385495

Promedio del Peso Unitario = 2322.829

Tabla 76: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.50%*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
7d-0.5%-E1	8.560	20.95	12.39	0.151	0.150	0.149	0.300	0.301	0.300	0.00530734	2334.502563
7d-0.5%-E2	8.581	20.934	12.353	0.150	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2319.795574
7d-0.5%-E3	8.588	20.987	12.399	0.151	0.150	0.150	0.300	0.301	0.300	0.00533095	2325.849732
7d-0.5%-E4	8.537	20.971	12.434	0.151	0.150	0.149	0.300	0.302	0.301	0.00531912	2337.604057
7d-0.5%-E5	8.623	20.979	12.356	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2307.5393
7d-0.5%-E6	8.519	20.981	12.462	0.151	0.150	0.150	0.299	0.300	0.301	0.00532504	2340.264911
7d-0.5%-E7	8.526	20.962	12.436	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2325.060197
7d-0.5%-E8	8.521	20.979	12.458	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2326.588265
14d-0.5%-E1	8.562	20.962	12.4	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2318.329563
14d-0.5%-E2	8.579	20.941	12.362	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2318.909137
14d-0.5%-E3	8.586	20.986	12.4	0.150	0.150	0.150	0.299	0.301	0.302	0.00531323	2333.796517
14d-0.5%-E4	8.536	20.954	12.418	0.151	0.151	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00537237	2311.455885
14d-0.5%-E5	8.614	20.959	12.345	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00531912	2320.871984

14d-0.5%-E6	8.535	20.988	12.453	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2325.654492
14d-0.5%-E7	8.532	20.972	12.44	0.152	0.149	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2325.808046
14d-0.5%-E8	8.525	20.975	12.45	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00534274	2330.266852
28d-0.5%-E1	8.567	20.941	12.374	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2313.468549
28d-0.5%-E2	8.582	20.933	12.351	0.151	0.150	0.150	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2316.845717
28d-0.5%-E3	8.591	20.984	12.393	0.151	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00536651	2309.323085
28d-0.5%-E4	8.534	20.959	12.425	0.150	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00533687	2328.142953
28d-0.5%-E5	8.610	20.962	12.352	0.150	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00534279	2311.901444
28d-0.5%-E6	8.530	20.970	12.44	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2320.651043
28d-0.5%-E7	8.534	20.965	12.431	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2334.443356
28d-0.5%-E8	8.524	20.971	12.447	0.151	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00536651	2319.385495

Promedio del Peso Unitario = 2323.186

Tabla 77: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.60%*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
7d-0.6%-E1	8.561	20.944	12.383	0.149	0.150	0.151	0.301	0.301	0.302	0.00532501	2325.440769
7d-0.6%-E2	8.580	20.928	12.348	0.150	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2318.856613
7d-0.6%-E3	8.587	20.984	12.397	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.300	0.00535462	2315.196237
7d-0.6%-E4	8.533	20.968	12.435	0.151	0.149	0.151	0.300	0.302	0.301	0.00534279	2327.436403
7d-0.6%-E5	8.622	20.975	12.353	0.149	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00530145	2330.117232
7d-0.6%-E6	8.522	20.980	12.458	0.151	0.151	0.150	0.299	0.300	0.301	0.00534868	2329.173363
7d-0.6%-E7	8.528	20.960	12.432	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2324.312349
7d-0.6%-E8	8.519	20.977	12.458	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2324.008898
14d-0.6%-E1	8.564	20.958	12.394	0.150	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00532504	2327.495049
14d-0.6%-E2	8.578	20.944	12.366	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2319.659471
14d-0.6%-E3	8.585	20.992	12.407	0.150	0.150	0.150	0.299	0.301	0.302	0.00531323	2335.113982
14d-0.6%-E4	8.538	20.951	12.413	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2331.063099
14d-0.6%-E5	8.611	20.953	12.342	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00531912	2320.307981

14d-0.6%-E6	8.537	20.989	12.452	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2325.467737
14d-0.6%-E7	8.531	20.973	12.442	0.152	0.149	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2326.18197
14d-0.6%-E8	8.528	20.968	12.44	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00534274	2328.395151
28d-0.6%-E1	8.560	20.944	12.384	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2315.33817
28d-0.6%-E2	8.581	20.937	12.356	0.151	0.150	0.150	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2317.783635
28d-0.6%-E3	8.592	20.989	12.397	0.151	0.150	0.151	0.301	0.299	0.301	0.00535462	2315.196237
28d-0.6%-E4	8.537	20.962	12.425	0.150	0.151	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00534868	2323.003615
28d-0.6%-E5	8.607	20.957	12.35	0.150	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00534279	2311.527107
28d-0.6%-E6	8.532	20.972	12.44	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2320.651043
28d-0.6%-E7	8.533	20.969	12.436	0.151	0.151	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00537237	2314.806361
28d-0.6%-E8	8.522	20.972	12.45	0.151	0.150	0.151	0.301	0.299	0.301	0.00535462	2325.094228

Promedio del Peso Unitario = 2322.984

Tabla 78: *Peso unitario del concreto fresco – Mezcla con aditivo de grafeno al 0.70%*

Resumen											
Probeta	Peso Molde (kg)	Peso Molde + Mezcla (kg)	Peso Mezcla (kg)	$\phi 1$ (m)	$\phi 2$ (m)	$\phi 3$ (m)	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	Volumen (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
7d-0.6%-E1	8.560	20.942	12.382	0.149	0.150	0.151	0.301	0.301	0.302	0.00532501	2325.252976
7d-0.6%-E2	8.579	20.922	12.343	0.150	0.150	0.150	0.300	0.301	0.299	0.00530145	2328.230956
7d-0.6%-E3	8.584	20.981	12.397	0.151	0.150	0.150	0.300	0.300	0.300	0.00532504	2328.058425
7d-0.6%-E4	8.531	20.964	12.433	0.151	0.149	0.151	0.301	0.302	0.301	0.00534871	2324.487883
7d-0.6%-E5	8.618	20.974	12.356	0.149	0.150	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00530145	2330.683115
7d-0.6%-E6	8.519	20.979	12.46	0.151	0.151	0.150	0.299	0.300	0.301	0.00534868	2329.547287
7d-0.6%-E7	8.531	20.961	12.43	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2323.938425
7d-0.6%-E8	8.522	20.974	12.452	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2322.889613
14d-0.6%-E1	8.561	20.959	12.398	0.150	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00532504	2328.246217
14d-0.6%-E2	8.576	20.942	12.366	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2319.659471
14d-0.6%-E3	8.588	20.991	12.403	0.150	0.151	0.150	0.299	0.301	0.302	0.00533687	2324.020687
14d-0.6%-E4	8.541	20.948	12.407	0.151	0.149	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00532504	2329.936346
14d-0.6%-E5	8.609	20.955	12.346	0.151	0.149	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00531912	2321.059985

14d-0.6%-E6	8.535	20.991	12.456	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.301	0.00535462	2326.214755
14d-0.6%-E7	8.535	20.971	12.436	0.152	0.149	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2325.060197
14d-0.6%-E8	8.532	20.965	12.433	0.151	0.150	0.151	0.299	0.301	0.299	0.00534274	2327.084961
28d-0.6%-E1	8.564	20.943	12.379	0.151	0.150	0.151	0.300	0.299	0.301	0.00534868	2314.40336
28d-0.6%-E2	8.582	20.936	12.354	0.151	0.150	0.150	0.299	0.301	0.301	0.00533095	2317.408468
28d-0.6%-E3	8.590	20.984	12.394	0.151	0.150	0.151	0.301	0.299	0.301	0.00535462	2314.635973
28d-0.6%-E4	8.532	20.957	12.425	0.150	0.151	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00534868	2323.003615
28d-0.6%-E5	8.611	20.962	12.351	0.150	0.150	0.151	0.301	0.301	0.301	0.00534279	2311.714275
28d-0.6%-E6	8.534	20.971	12.437	0.151	0.150	0.151	0.300	0.301	0.301	0.00536056	2320.091401
28d-0.6%-E7	8.528	20.963	12.435	0.151	0.151	0.151	0.300	0.301	0.299	0.00537237	2314.620224
28d-0.6%-E8	8.526	20.974	12.448	0.151	0.150	0.151	0.301	0.299	0.301	0.00535462	2324.720719

Promedio del Peso Unitario = 2323.124

APÉNDICE IV: RESULTADOS Y CÁLCULOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

Tabla 79: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0% a los 7 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.355	12.378	12.344	12.358	12.388	12.361	12.382	12.365	-
Peso (N)	121.16	121.39	121.05	121.19	121.48	121.22	121.43	121.26	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2330.5	2334.8	2328.4	2331.1	2336.7	2331.6	2335.6	2332.4	2332.64
Carga Máxima de Rotura (Tn)	50.30	49.80	51.20	50.50	50.10	50.40	51.30	51.50	50.64
Carga Máxima de Rotura (N)	493274	488371	502100	495236	491313	494255	503081	505042	496584.24
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	284.64	281.81	289.73	285.77	283.51	285.20	290.30	291.43	286.55
Resistencia a la compresión (MPa)	27.91	27.64	28.41	28.02	27.80	27.97	28.47	28.58	28.10
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	11.17	11.05	11.37	11.21	11.12	11.19	11.39	11.43	11.24
Tiempo de Ensayo (seg)	108	112	122	114	110	112	120	122	115
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2585	0.2468	0.2329	0.2458	0.2528	0.2497	0.2372	0.2343	0.245
Tipo de falla	3	5	2	3	2	5	2	3	-
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Frágil	Dúctil	Dúctil	-

Tabla 80: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0% a los 14 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.415	12.407	12.388	12.395	12.401	12.383	12.378	12.417	-
Peso (N)	121.75	121.67	121.48	121.55	121.61	121.44	121.39	121.77	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2341.8	2340.3	2336.7	2338	2339.2	2335.8	2334.8	2342.2	2338.61
Carga Máxima de Rotura (Tn)	57.50	56.50	58.00	57.00	59.00	57.20	56.80	58.00	57.50
Carga Máxima de Rotura (N)	563882	554076	568786	558979	578592	560940	557018	568786	563882.38
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	325.38	319.72	328.21	322.55	333.87	323.69	321.42	328.21	325.38
Resistencia a la compresión (MPa)	31.91	31.35	32.19	31.63	32.74	31.74	31.52	32.19	31.91
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	12.76	12.54	12.87	12.65	13.10	12.70	12.61	12.87	12.76
Tiempo de Ensayo (seg)	126	128	135	130	127	136	130	124	130
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2532	0.245	0.2384	0.2433	0.2578	0.2334	0.2425	0.2596	0.247
Tipo de falla	5	5	2	3	5	5	2	5	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Dúctil	Dúctil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	-

Tabla 81: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0% a los 28 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.413	12.441	12.407	12.427	12.41	12.397	12.404	12.424	-
Peso (N)	121.73	122	121.67	121.87	121.7	121.57	121.64	121.84	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2341.4	2346.7	2340.3	2344.1	2340.9	2338.4	2339.7	2343.5	2341.88
Carga Máxima de Rotura (Tn)	63.00	61.00	62.50	64.00	62.00	62.50	63.50	61.50	62.50
Carga Máxima de Rotura (N)	617819	598206	612916	627626	608012	612916	622722	603109	612915.63
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	356.51	345.19	353.68	362.17	350.85	353.68	359.34	348.02	353.68
Resistencia a la compresión (MPa)	34.96	33.85	34.68	35.52	34.41	34.68	35.24	34.13	34.68
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	13.98	13.54	13.87	14.21	13.76	13.87	14.10	13.65	13.87
Tiempo de Ensayo (seg)	156	135	142	138	140	150	144	142	143
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2241	0.2508	0.2443	0.2574	0.2458	0.2312	0.2447	0.2403	0.242
Tipo de falla	5	5	5	5	3	5	5	3	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Dúctil	-

Tabla 82: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.30% a los 7 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.357	12.366	12.357	12.365	12.364	12.342	12.351	12.344	-
Peso (N)	121.18	121.27	121.18	121.26	121.25	121.03	121.12	121.05	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2330.9	2332.6	2330.9	2332.4	2332.2	2328	2329.7	2328.4	2330.64
Carga Máxima de Rotura (Tn)	54.00	55.00	56.20	56.00	56.30	54.50	55.50	56.00	55.44
Carga Máxima de Rotura (N)	529559	539366	551134	549172	552114	534462	544269	549172	543656.16
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	305.58	311.24	318.03	316.89	318.59	308.41	314.07	316.89	313.71
Resistencia a la compresión (MPa)	29.97	30.52	31.19	31.08	31.24	30.24	30.80	31.08	30.76
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	11.99	12.21	12.48	12.43	12.50	12.10	12.32	12.43	12.31
Tiempo de Ensayo (seg)	123	125	128	120	119	122	123	126	123
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2436	0.2442	0.2437	0.259	0.2625	0.2479	0.2504	0.2466	0.250
Tipo de falla	2	5	5	5	5	2	5	5	-
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	-

Tabla 85: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.40% a los 7 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.325	12.347	12.357	12.352	12.362	12.317	12.340	12.366	-
Peso (N)	120.87	121.08	121.18	121.13	121.23	120.79	121.01	121.27	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2324.8	2329	2330.9	2329.9	2331.8	2323.3	2327.7	2332.6	2328.75
Carga Máxima de Rotura (Tn)	60.20	61.00	60.60	61.50	60.00	61.00	60.40	62.00	60.84
Carga Máxima de Rotura (N)	590360	598206	594283	603109	588399	598206	592322	608012	596612.07
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	340.66	345.19	342.93	348.02	339.53	345.19	341.79	350.85	344.27
Resistencia a la compresión (MPa)	33.41	33.85	33.63	34.13	33.30	33.85	33.52	34.41	33.76
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	13.36	13.54	13.45	13.65	13.32	13.54	13.41	13.76	13.50
Tiempo de Ensayo (seg)	133	136	130	129	135	130	132	134	132
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2512	0.2489	0.2587	0.2646	0.2466	0.2604	0.2539	0.2568	0.255
Tipo de falla	5	5	5	5	2	5	5	5	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	-

Tabla 86: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.40% a los 14 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.381	12.373	12.363	12.376	12.360	12.384	12.390	12.392	-
Peso (N)	121.42	121.34	121.24	121.37	121.21	121.45	121.5	121.52	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2335.4	2333.9	2332	2334.5	2331.4	2336	2337.1	2337.5	2334.72
Carga Máxima de Rotura (Tn)	67.50	68.50	68.00	69.60	68.80	67.20	70.00	68.40	68.50
Carga Máxima de Rotura (N)	661949	671756	666852	682543	674698	659007	686466	670775	671755.53
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	381.97	387.63	384.80	393.85	389.33	380.27	396.12	387.06	387.63
Resistencia a la compresión (MPa)	37.46	38.01	37.74	38.62	38.18	37.29	38.85	37.96	38.01
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	14.98	15.21	15.09	15.45	15.27	14.92	15.54	15.18	15.21
Tiempo de Ensayo (seg)	146	148	145	150	152	147	146	153	148
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2566	0.2568	0.2602	0.2575	0.2512	0.2537	0.2661	0.2481	0.256
Tipo de falla	2	5	5	5	5	2	5	5	-
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	-

Tabla 87: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.40% a los 28 días

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.384	12.382	12.384	12.376	12.367	12.388	12.481	12.394	-
Peso (N)	121.45	121.43	121.45	121.37	121.28	121.48	122.4	121.54	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2336	2335.6	2336	2334.5	2332.8	2336.7	2354.3	2337.9	2337.95
Carga Máxima de Rotura (Tn)	71.00	74.00	72.00	72.50	72.00	73.00	71.50	74.00	72.50
Carga Máxima de Rotura (N)	696272	725692	706079	710982	706079	715885	701175	725692	710982.13
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	401.78	418.75	407.44	410.27	407.44	413.09	404.61	418.75	410.27
Resistencia a la compresión (MPa)	39.40	41.07	39.96	40.23	39.96	40.51	39.68	41.07	40.23
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	15.76	16.43	15.98	16.09	15.98	16.20	15.87	16.43	16.09
Tiempo de Ensayo (seg)	156	159	157	162	158	155	160	161	159
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2526	0.2583	0.2545	0.2484	0.2529	0.2614	0.248	0.2551	0.254
Tipo de falla	2	5	5	5	5	5	5	5	-
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	-

Tabla 88: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.50% a los 7 días

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.337	12.318	12.325	12.338	12.340	12.359	12.327	12.358	-
Peso (N)	120.98	120.8	120.87	120.99	121.01	121.2	120.89	121.19	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2327.1	2323.5	2324.8	2327.3	2327.7	2331.2	2325.2	2331.1	2327.24
Carga Máxima de Rotura (Tn)	65.00	66.00	64.50	65.00	64.30	65.00	62.40	66.50	64.84
Carga Máxima de Rotura (N)	637432	647239	632529	637432	630568	637432	611935	652142	635838.67
Resistencia a la compresión (kg-f/cm2)	367.82	373.48	364.99	367.82	363.86	367.82	353.11	376.31	366.90
Resistencia a la compresión (MPa)	36.07	36.63	35.79	36.07	35.68	36.07	34.63	36.90	35.98
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	14.43	14.65	14.32	14.43	14.27	14.43	13.85	14.76	14.39
Tiempo de Ensayo (seg)	140	142	146	139	146	140	143	144	143
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2577	0.2579	0.2452	0.2595	0.2444	0.2577	0.2422	0.2563	0.253
Tipo de falla	5	5	2	5	2	5	2	5	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Dúctil	Frágil	Dúctil	Frágil	-

Tabla 91: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.60% a los 7 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.333	12.326	12.329	12.338	12.328	12.345	12.322	12.342	-
Peso (N)	120.95	120.88	120.91	120.99	120.9	121.06	120.84	121.03	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2326.3	2325	2325.6	2327.3	2325.4	2328.6	2324.3	2328	2326.32
Carga Máxima de Rotura (Tn)	68.20	69.00	69.30	66.80	67.60	68.40	67.00	66.40	67.84
Carga Máxima de Rotura (N)	668814	676659	679601	655084	662930	670775	657046	651162	665258.62
Resistencia a la compresión (kg-f/cm ²)	385.93	390.46	392.16	378.01	382.54	387.06	379.14	375.75	383.88
Resistencia a la compresión (MPa)	37.85	38.29	38.46	37.07	37.51	37.96	37.18	36.85	37.65
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	15.14	15.32	15.38	14.83	15.01	15.18	14.87	14.74	15.06
Tiempo de Ensayo (seg)	147	149	150	151	150	148	148	150	149
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2575	0.257	0.2564	0.2455	0.2501	0.2565	0.2512	0.2457	0.252
Tipo de falla	5	5	5	2	5	5	2	2	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Dúctil	Dúctil	-

Tabla 92: *Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.60% a los 14 días*

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.365	12.354	12.377	12.347	12.386	12.361	12.359	12.367	-
Peso (N)	121.26	121.15	121.38	121.08	121.47	121.22	121.2	121.28	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2332.4	2330.3	2334.6	2329	2336.3	2331.6	2331.2	2332.8	2332.29
Carga Máxima de Rotura (Tn)	73.00	75.20	73.60	75.50	73.00	74.70	76.00	74.20	74.40
Carga Máxima de Rotura (N)	715885	737460	721769	740402	715885	732557	745305	727653	729614.76
Resistencia a la compresión (kg-f/cm ²)	413.09	425.54	416.49	427.24	413.09	422.71	430.07	419.89	421.02
Resistencia a la compresión (MPa)	40.51	41.73	40.84	41.90	40.51	41.45	42.18	41.18	41.29
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	16.20	16.69	16.34	16.76	16.20	16.58	16.87	16.47	16.52
Tiempo de Ensayo (seg)	160	162	159	158	157	161	160	162	160
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2532	0.2576	0.2569	0.2652	0.258	0.2575	0.2636	0.2542	0.258
Tipo de falla	2	5	5	5	2	5	5	5	-
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	-

Tabla 93: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.60% a los 28 días

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.382	12.367	12.383	12.382	12.377	12.385	12.386	12.391	-
Peso (N)	121.43	121.28	121.44	121.43	121.38	121.46	121.47	121.51	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2335.6	2332.8	2335.8	2335.6	2334.6	2336.2	2336.3	2337.3	2335.52
Carga Máxima de Rotura (Tn)	79.00	80.00	77.50	78.00	78.50	78.00	79.00	78.00	78.50
Carga Máxima de Rotura (N)	774725	784532	760015	764919	769822	764919	774725	764919	769822.03
Resistencia a la compresión (kg-f/cm ²)	447.05	452.71	438.56	441.39	444.22	441.39	447.05	441.39	444.22
Resistencia a la compresión (MPa)	43.84	44.40	43.01	43.29	43.56	43.29	43.84	43.29	43.56
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	17.54	17.76	17.20	17.31	17.43	17.31	17.54	17.31	17.43
Tiempo de Ensayo (seg)	170	172	169	167	172	173	170	168	170
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2579	0.2581	0.2545	0.2592	0.2533	0.2502	0.2579	0.2577	0.256
Tipo de falla	5	5	2	5	5	5	5	5	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	-

Tabla 94: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.70% a los 7 días

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.333	12.332	12.328	12.339	12.319	12.332	12.328	12.343	-
Peso (N)	120.95	120.94	120.9	121	120.81	120.94	120.9	121.04	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2326.3	2326.2	2325.4	2327.5	2323.7	2326.2	2325.4	2328.2	2326.11
Carga Máxima de Rotura (Tn)	71.40	68.80	69.50	69.20	70.30	72.40	68.20	71.30	70.14
Carga Máxima de Rotura (N)	700195	674698	681562	678620	689407	710001	668814	699214	687813.92
Resistencia a la compresión (kg-f/cm ²)	404.04	389.33	393.29	391.59	397.82	409.70	385.93	403.47	396.90
Resistencia a la compresión (MPa)	39.62	38.18	38.57	38.40	39.01	40.18	37.85	39.57	38.92
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	15.85	15.27	15.43	15.36	15.60	16.07	15.14	15.83	15.57
Tiempo de Ensayo (seg)	155	150	153	149	152	158	152	150	152
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2556	0.2545	0.2521	0.2577	0.2567	0.2543	0.249	0.2638	0.255
Tipo de falla	5	2	5	2	5	5	2	5	-
Modo de falla	Frágil	Dúctil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	-

Tabla 95: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.70% a los 14 días

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.338	12.367	12.349	12.370	12.378	12.369	12.371	12.364	-
Peso (N)	120.99	121.28	121.1	121.31	121.39	121.3	121.32	121.25	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2327.3	2332.8	2329.4	2333.3	2334.8	2333.1	2333.5	2332.2	2332.05
Carga Máxima de Rotura (Tn)	77.00	75.00	76.00	77.50	75.00	76.50	74.00	77.00	76.00
Carga Máxima de Rotura (N)	755112	735499	745305	760015	735499	750209	725692	755112	745305.40
Resistencia a la compresión (kg-f/cm ²)	435.73	424.41	430.07	438.56	424.41	432.90	418.75	435.73	430.07
Resistencia a la compresión (MPa)	42.73	41.62	42.18	43.01	41.62	42.45	41.07	42.73	42.18
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	17.09	16.65	16.87	17.20	16.65	16.98	16.43	17.09	16.87
Tiempo de Ensayo (seg)	168	162	164	170	161	167	159	169	165
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2543	0.2569	0.2572	0.253	0.2585	0.2542	0.2583	0.2528	0.256
Tipo de falla	5	2	5	5	5	5	2	5	-
Modo de falla	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	-

Tabla 96: Cálculo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto con 0.70% a los 28 días

Datos	Especímenes Cilíndricos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	-
Altura promedio (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	-
Diámetro promedio (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	-
Peso (kg)	12.391	12.369	12.372	12.384	12.364	12.389	12.397	12.378	-
Peso (N)	121.51	121.3	121.33	121.45	121.25	121.49	121.57	121.39	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2337.3	2333.1	2333.7	2336	2332.2	2336.9	2338.4	2334.8	2335.30
Carga Máxima de Rotura (Tn)	82.00	80.00	81.00	80.00	79.00	79.00	81.00	82.00	80.50
Carga Máxima de Rotura (N)	804145	784532	794339	784532	774725	774725	794339	804145	789435.33
Resistencia a la compresión (kg-f/cm ²)	464.02	452.71	458.37	452.71	447.05	447.05	458.37	464.02	455.54
Resistencia a la compresión (MPa)	45.51	44.40	44.95	44.40	43.84	43.84	44.95	45.51	44.67
Resistencia a la compresión 40% (MPa)	18.20	17.76	17.98	17.76	17.54	17.54	17.98	18.20	17.87
Tiempo de Ensayo (seg)	177	174	176	173	170	168	174	178	174
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.2571	0.2551	0.2554	0.2566	0.2579	0.261	0.2583	0.2556	0.257
Tipo de falla	5	5	5	5	2	5	5	5	-
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	-

Tabla 97: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0% a los 7 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Longitud promedio (mm)	501	500	500.5	501	500	501	501	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151	151.5	151.5	151	150	150	152	151.5	-
Ancho promedio (mm)	150.5	149.5	151	150	151.5	149.5	150	151	-
Peso (kg)	26.384	26.271	26.52	26.311	26.467	26.087	26.497	26.547	-
Peso (N)	258.74	257.63	260.07	258.02	259.55	255.83	259.85	260.34	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2317.3	2319.8	2316.2	2318.6	2329.3	2322.0	2319.7	2320.9	2320.48
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1430	1480	1460	1470	1400	1490	1440	1540	1463.75
Carga Máxima de Rotura (N)	14024	14514	14318	14416	13729	14612	14122	15102	14354.48
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	28.13	29.11	28.44	29.01	27.72	29.90	28.05	29.99	28.79
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	2.76	2.86	2.79	2.85	2.72	2.93	2.75	2.94	2.82
Tiempo de Ensayo (seg)	160	162	158	163	160	169	157	165	162
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0172	0.0176	0.0176	0.0175	0.017	0.0174	0.0175	0.0178	0.0175

Tabla 98: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0% a los 14 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Longitud promedio (mm)	500	501	502	501	500	502	500	501	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151.5	151	150	150.5	152	150	151.5	151.5	-
Ancho promedio (mm)	151	150	149.5	150	151	149	151	150.5	-
Peso (kg)	26.527	26.314	26.127	26.247	26.624	26.061	26.550	26.502	-
Peso (N)	260.14	258.05	256.22	257.4	261.09	255.57	260.37	259.9	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2319.1	2321.2	2320.9	2320.7	2320	2322.8	2321.2	2320	2320.73
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1740	1670	1630	1600	1640	1620	1690	1660	1656.25
Carga Máxima de Rotura (N)	17064	16377	15985	15691	16083	15887	16573	16279	16242.26
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	33.89	32.96	32.71	31.79	31.73	32.62	32.91	32.44	32.63
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.32	3.23	3.21	3.12	3.11	3.20	3.23	3.18	3.20
Tiempo de Ensayo (seg)	187	184	183	180	183	184	186	179	183
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0178	0.0176	0.0175	0.0173	0.017	0.0174	0.0174	0.0178	0.0175

Tabla 99: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0% a los 28 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Longitud promedio (mm)	501	502	501	500	500	502	501	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150.5	150.5	151	152	151.5	150	151.5	151.5	-
Ancho promedio (mm)	150.5	150	150	150.5	150.5	149.5	150.5	151	-
Peso (kg)	26.354	26.307	26.335	26.565	26.461	26.127	26.485	26.537	-
Peso (N)	258.44	257.98	258.26	260.51	259.49	256.22	259.73	260.24	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2322.4	2321.3	2320.7	2322.5	2321.1	2320.9	2318.5	2320	2320.94
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1800	1770	1820	1840	1860	1760	1820	1750	1802.50
Carga Máxima de Rotura (N)	17652	17358	17848	18044	18240	17260	17848	17162	17676.49
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	35.64	35.17	35.92	35.72	36.35	35.32	35.56	34.08	35.47
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.50	3.45	3.52	3.50	3.56	3.46	3.49	3.34	3.48
Tiempo de Ensayo (seg)	199	198	203	201	200	197	205	190	199
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0176	0.0174	0.0174	0.0174	0.0178	0.0176	0.017	0.0176	0.0175

Tabla 100: *Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.30% a los 7 días*

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	-
Longitud promedio (mm)	502	500	501	501	502	500	500	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	149	151	150.5	150	150	152	151	151	-
Ancho promedio (mm)	151	151	150	150	150.5	150	151	150	-
Peso (kg)	26.174	26.424	26.217	26.124	26.268	26.428	26.421	26.245	-
Peso (N)	256.68	259.13	257.1	256.19	257.6	259.17	259.1	257.38	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2317.4	2317.8	2318	2317.5	2317.9	2318.2	2317.5	2317.4	2317.73
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1660	1700	1670	1700	1690	1720	1640	1600	1672.50
Carga Máxima de Rotura (N)	16279	16671	16377	16671	16573	16867	16083	15691	16401.62
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	33.42	33.33	33.18	34.00	33.69	33.50	32.15	31.58	33.11
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.28	3.27	3.25	3.33	3.30	3.29	3.15	3.10	3.25
Tiempo de Ensayo (seg)	185	186	188	191	189	191	179	179	186
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0177	0.0176	0.0173	0.0175	0.0175	0.0172	0.0176	0.0173	0.0175

Tabla 101: *Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.30% a los 14 días*

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	-
Longitud promedio (mm)	500	501	501	500	502	501	500	501	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	152	151	151	151.5	151	151	152	150	-
Ancho promedio (mm)	151	150.5	150	150.5	149.5	149	150.5	149.5	-
Peso (kg)	26.61	26.394	26.322	26.441	26.285	26.143	26.530	26.059	-
Peso (N)	260.95	258.84	258.13	259.3	257.77	256.38	260.17	255.55	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2318.8	2318.2	2319.6	2319.3	2319.5	2319.3	2319.5	2319.5	2319.19
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2000	1920	1950	1870	1940	1880	1950	1900	1926.25
Carga Máxima de Rotura (N)	19613	18829	19123	18338	19025	18437	19123	18633	18890.06
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	38.70	37.77	38.49	36.54	38.42	37.35	37.85	38.13	37.91
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.79	3.70	3.77	3.58	3.77	3.66	3.71	3.74	3.72
Tiempo de Ensayo (seg)	218	210	215	205	215	211	216	212	213
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0174	0.0176	0.0176	0.0175	0.0175	0.0174	0.0172	0.0176	0.0175

Tabla 102: *Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.30% a los 28 días*

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%	-
Longitud promedio (mm)	500	501	500	502	502	503	500	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151.5	150.5	151.5	150.5	150	150	152	150.5	-
Ancho promedio (mm)	151	150.5	150.5	150	149.5	149.5	151	150	-
Peso (kg)	26.55	26.341	26.463	26.306	26.135	26.184	26.649	26.204	-
Peso (N)	260.37	258.32	259.51	257.97	256.3	256.78	261.34	256.97	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2321.2	2321.2	2321.2	2321.3	2321.6	2321.3	2322.2	2321.5	2321.43
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2040	2040	2090	1960	1990	2050	2070	2060	2037.50
Carga Máxima de Rotura (N)	20006	20006	20496	19221	19515	20104	20300	20202	19981.05
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	39.73	40.39	40.84	38.94	39.93	41.14	40.05	40.93	40.24
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.90	3.96	4.01	3.82	3.92	4.03	3.93	4.01	3.95
Tiempo de Ensayo (seg)	220	222	228	221	224	231	228	226	225
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0177	0.0178	0.0176	0.0173	0.0175	0.0175	0.0172	0.0178	0.0175

Tabla 103: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.40% a los 7 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	-
Longitud promedio (mm)	501	502	501	501	500	503	500	502	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	152	150	151	151	150	151	151	151	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	151	150.5	151	149	150	151	-
Peso (kg)	26.46	26.266	26.475	26.385	26.24	26.232	26.245	26.527	-
Peso (N)	259.48	257.58	259.63	258.75	257.33	257.25	257.38	260.14	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2316.4	2317.7	2317.6	2317.4	2317	2317.9	2317.4	2317.6	2317.39
Carga Máxima de Rotura (Kg)	1870	1880	1860	1900	1900	1940	1870	1920	1892.50
Carga Máxima de Rotura (N)	18338	18437	18240	18633	18633	19025	18338	18829	18559.09
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	36.42	37.48	36.47	37.37	37.75	38.54	36.91	37.64	37.32
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.57	3.68	3.58	3.67	3.70	3.78	3.62	3.69	3.66
Tiempo de Ensayo (seg)	203	210	204	209	214	216	211	210	210
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0176	0.0175	0.0175	0.0175	0.0173	0.0175	0.0172	0.0176	0.0175

Tabla 104: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.40% a los 14 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	-
Longitud promedio (mm)	502	500	500	502	502	503	501	501	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151	151	151	151	150	151	151	150	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	151	150	150.5	151	149	151	-
Peso (kg)	26.376	26.347	26.444	26.372	26.286	26.602	26.147	26.32	-
Peso (N)	258.66	258.38	259.33	258.62	257.78	260.88	256.41	258.11	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2319.7	2318.7	2319.5	2319.4	2319.5	2319.5	2319.6	2319.4	2319.43
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2200	2060	2170	2140	2140	2070	2080	2100	2120.00
Carga Máxima de Rotura (N)	21575	20202	21280	20986	20986	20300	20398	20594	20790.10
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	43.42	40.52	42.54	42.24	42.66	40.58	41.33	41.72	41.88
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.26	3.97	4.17	4.14	4.18	3.98	4.05	4.09	4.11
Tiempo de Ensayo (seg)	245	230	240	235	236	228	230	231	234
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0174	0.0173	0.0174	0.0176	0.0177	0.0175	0.0176	0.0177	0.0175

Tabla 105: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.40% a los 28 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	-
Longitud promedio (mm)	502	501	501	501	500	503	500	502	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150.5	151.5	150	150.5	151	150.5	152	150.5	-
Ancho promedio (mm)	149.5	150	150	150.5	150.5	149	151.5	149.5	-
Peso (kg)	26.217	26.427	26.155	26.341	26.374	26.183	26.521	26.217	-
Peso (N)	257.1	259.16	256.49	258.32	258.64	256.77	260.08	257.1	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2321.1	2321.2	2320.2	2321.2	2321.1	2321.3	2303.4	2321.1	2318.84
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2270	2200	2250	2220	2170	2190	2270	2250	2227.50
Carga Máxima de Rotura (N)	22261	21575	22065	21771	21280	21477	22261	22065	21844.31
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	45.25	43.13	45.00	43.96	42.68	43.80	43.78	44.85	44.06
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.44	4.23	4.41	4.31	4.19	4.30	4.29	4.40	4.32
Tiempo de Ensayo (seg)	252	240	252	251	241	243	245	250	247
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0176	0.0176	0.0175	0.0172	0.0174	0.0177	0.0175	0.0176	0.0175

Tabla 106: *Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.50% a los 7 días*

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	-
Longitud promedio (mm)	501	502	501	501	500	502	501	501	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150.5	150.5	151	151	152	150	150.5	151.5	-
Ancho promedio (mm)	150.5	150	150	151	150.5	149.5	150	150.5	-
Peso (kg)	26.301	26.266	26.297	26.476	26.511	26.092	26.215	26.476	-
Peso (N)	257.92	257.58	257.89	259.64	259.98	255.88	257.08	259.64	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2317.7	2317.7	2317.4	2317.7	2317.8	2317.8	2317.8	2317.7	2317.72
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2030	2070	2100	1980	1990	2060	2060	2140	2053.75
Carga Máxima de Rotura (N)	19907	20300	20594	19417	19515	20202	20202	20986	20140.41
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm ²)	40.20	41.13	41.45	38.82	38.63	41.34	40.93	41.82	40.54
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	3.94	4.03	4.06	3.81	3.79	4.05	4.01	4.10	3.98
Tiempo de Ensayo (seg)	223	229	232	221	218	231	230	234	227
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0177	0.0176	0.0175	0.0172	0.0174	0.0175	0.0175	0.0175	0.0175

Tabla 107: *Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.50% a los 14 días*

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	-
Longitud promedio (mm)	500	500	501	502	500	503	502	501	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151	151	152	150	151.5	151	150	151	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	150.5	149.5	151	149	149	150	-
Peso (kg)	26.264	26.352	26.582	26.11	26.531	26.251	26.023	26.321	-
Peso (N)	257.56	258.42	260.68	256.05	260.18	257.43	255.2	258.12	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2319.1	2319.2	2319.4	2319.4	2319.5	2319.6	2319.4	2319.5	2319.38
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2290	2240	2270	2190	2340	2240	2270	2260	2262.50
Carga Máxima de Rotura (N)	22457	21967	22261	21477	22948	21967	22261	22163	22187.55
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm ²)	45.20	44.06	44.07	43.95	45.57	44.51	45.70	44.60	44.71
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.43	4.32	4.32	4.31	4.47	4.36	4.48	4.37	4.38
Tiempo de Ensayo (seg)	252	248	247	250	256	251	253	251	251
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0176	0.0174	0.0175	0.0172	0.0175	0.0174	0.0177	0.0174	0.0175

Tabla 108: *Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.50% a los 28 días*

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	-
Longitud promedio (mm)	501	501	500	501	502	503	502	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151	151	152	150	151.5	151	150	151	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	150.5	149.5	151	149	149	150	-
Peso (kg)	26.321	26.408	26.53	26.059	26.637	26.249	26.023	26.268	-
Peso (N)	258.12	258.97	260.17	255.55	261.22	257.41	255.2	257.6	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m ³)	2319.5	2319.4	2319.5	2319.5	2319.5	2319.4	2319.4	2319.5	2319.46
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2400	2360	2420	2320	2400	2360	2320	2360	2367.50
Carga Máxima de Rotura (N)	23536	23144	23732	22751	23536	23144	22751	23144	23217.24
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm ²)	47.37	46.42	46.98	46.56	46.74	46.89	46.71	46.58	46.78
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.65	4.55	4.61	4.57	4.58	4.60	4.58	4.57	4.59
Tiempo de Ensayo (seg)	265	259	264	263	264	260	258	261	262
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0175	0.0176	0.0175	0.0174	0.0174	0.0177	0.0178	0.0175	0.0175

Tabla 109: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.60% a los 7 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	-
Longitud promedio (mm)	500	501	500	502	502	502	501	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	151	150.5	151	150.5	150	152	151.5	150.5	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	151	150	149.5	150.5	150.5	150	-
Peso (kg)	26.247	26.301	26.423	26.266	26.091	26.616	26.466	26.161	-
Peso (N)	257.4	257.92	259.12	257.58	255.87	261.01	259.54	256.55	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2317.6	2317.7	2317.7	2317.7	2317.7	2317.7	2316.9	2317.7	2317.59
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2240	2230	2130	2170	2140	2160	2190	2120	2172.50
Carga Máxima de Rotura (N)	21967	21869	20888	21280	20986	21182	21477	20790	21304.95
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	44.21	44.16	41.76	43.11	42.94	41.93	42.79	42.12	42.88
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.34	4.33	4.10	4.23	4.21	4.11	4.20	4.13	4.20
Tiempo de Ensayo (seg)	245	248	234	240	243	235	239	240	241
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0177	0.0175	0.0175	0.0176	0.0173	0.0175	0.0176	0.0172	0.0175

Tabla 110: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.60% a los 14 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	-
Longitud promedio (mm)	500	502	501	501	502	503	501	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	152	150	151.5	151	150	151	150	151	-
Ancho promedio (mm)	151.5	149.5	150	150.5	150	149.5	150	150	-
Peso (kg)	26.697	26.101	26.398	26.397	26.188	26.327	26.136	26.258	-
Peso (N)	261.81	255.96	258.88	258.87	256.82	258.18	256.31	257.5	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2318.7	2318.6	2318.6	2318.5	2318.5	2318.5	2318.6	2318.6	2318.57
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2430	2350	2380	2320	2400	2340	2330	2320	2358.75
Carga Máxima de Rotura (N)	23830	23046	23340	22751	23536	22948	22849	22751	23131.44
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	46.86	47.16	46.66	45.64	48.00	46.34	46.60	45.79	46.63
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.60	4.62	4.58	4.48	4.71	4.54	4.57	4.49	4.57
Tiempo de Ensayo (seg)	262	265	263	255	270	261	263	255	262
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0175	0.0175	0.0174	0.0176	0.0174	0.0174	0.0174	0.0176	0.0175

Tabla 111: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.60% a los 28 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	0.60%	-
Longitud promedio (mm)	501	501	500	500	500	502	501	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150.5	151	151.5	152	151.5	151.5	151.5	150	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	150.5	151	151.5	150	149.5	150	-
Peso (kg)	26.233	26.408	26.443	26.617	26.619	26.461	26.320	26.094	-
Peso (N)	257.26	258.97	259.32	261.02	261.04	259.49	258.11	255.89	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2319.4	2319.4	2319.5	2319.4	2319.5	2319.5	2319.5	2319.5	2319.47
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2520	2470	2440	2520	2500	2460	2470	2450	2478.75
Carga Máxima de Rotura (N)	24713	24222	23928	24713	24517	24124	24222	24026	24308.23
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	50.07	48.59	47.68	48.76	48.53	48.23	48.59	49.00	48.68
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.91	4.76	4.68	4.78	4.76	4.73	4.76	4.81	4.77
Tiempo de Ensayo (seg)	279	270	268	271	272	270	273	276	272
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0176	0.0176	0.0174	0.0176	0.0175	0.0175	0.0175	0.0174	0.0175

Tabla 112: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.70% a los 7 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	-
% de aditivo	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	-
Longitud promedio (mm)	501	501	500	500	502	503	501	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150.5	151	150.5	152	151	150.5	150	151.5	-
Ancho promedio (mm)	150.5	150	150	151	150.5	149.5	150	150.5	-
Peso (kg)	26.3	26.298	26.161	26.597	26.442	26.23	26.126	26.423	-
Peso (N)	257.91	257.9	256.55	260.83	259.31	257.23	256.21	259.12	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2317.6	2317.5	2317.7	2317.6	2317.8	2317.7	2317.7	2317.7	2317.67
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2300	2240	2260	2280	2250	2200	2240	2280	2256.25
Carga Máxima de Rotura (N)	22555	21967	22163	22359	22065	21575	21967	22359	22126.25
Resistencia a la Flexión / Mr (kg-f/cm2)	45.54	44.21	44.90	44.11	44.26	43.85	44.80	44.55	44.53
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.47	4.34	4.40	4.33	4.34	4.30	4.39	4.37	4.37
Tiempo de Ensayo (seg)	255	249	250	249	249	247	249	250	250
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0175	0.0174	0.0176	0.0174	0.0174	0.0174	0.0176	0.0175	0.0175

Tabla 113: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.70% a los 14 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	-
% de aditivo	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	-
Longitud promedio (mm)	502	500	500	501	502	503	502	501	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150	151.5	150.5	151	150.5	150	150.5	151	-
Ancho promedio (mm)	149.5	151	150.5	151	149.5	149.5	149	150.5	-
Peso (kg)	26.105	26.521	26.257	26.485	26.184	26.153	26.097	26.397	-
Peso (N)	256	260.08	257.49	259.73	256.78	256.47	255.92	258.87	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2318.9	2318.6	2318.5	2318.5	2318.2	2318.6	2318.3	2318.5	2318.51
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2370	2470	2420	2470	2400	2390	2420	2380	2415.00
Carga Máxima de Rotura (N)	23242	24222	23732	24222	23536	23438	23732	23340	23683.06
Resistencia a la Flexión/Mr (kg-f/cm2)	47.56	48.11	47.92	48.43	47.84	47.96	48.40	46.82	47.88
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.66	4.72	4.70	4.75	4.69	4.70	4.75	4.59	4.70
Tiempo de Ensayo (seg)	265	269	270	271	267	269	270	265	268
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0176	0.0175	0.0174	0.0175	0.0176	0.0175	0.0176	0.0173	0.0175

Tabla 114: Cálculo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de los especímenes prismáticos de concreto con 0.70% a los 28 días

Datos	Especímenes Prismáticos								Promedio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	-
% de aditivo	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	-
Longitud promedio (mm)	501	501	501	502	502	504	502	500	-
Longitud promedio de ensayo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	-
Altura promedio (mm)	150	151	151	150	150	150.5	150.5	150.5	-
Ancho promedio (mm)	150	150.5	150	149.5	149.5	150	149.5	150.5	-
Peso (kg)	26.145	26.409	26.322	26.113	26.105	26.388	26.193	26.265	-
Peso (N)	256.39	258.98	258.13	256.08	256	258.78	256.87	257.57	-
PU Concreto Estado Endurecido (kg/m3)	2319.4	2319.5	2319.6	2319.6	2318.9	2319.3	2319	2319.2	2319.31
Carga Máxima de Rotura (Kg)	2540	2580	2540	2520	2470	2520	2500	2460	2516.25
Carga Máxima de Rotura (N)	24909	25301	24909	24713	24222	24713	24517	24124	24675.98
Resistencia a la Flexión/Mr (kg-f/cm2)	50.80	50.75	50.13	50.57	49.57	50.07	49.83	48.71	50.05
Resistencia a la Flexión / Mr (MPa)	4.98	4.98	4.92	4.96	4.86	4.91	4.89	4.78	4.91
Tiempo de Ensayo (seg)	285	282	280	284	280	279	281	275	281
Velocidad de Ensayo (Mpa/seg)	0.0175	0.0176	0.0176	0.0175	0.0174	0.0176	0.0174	0.0174	0.0175

APÉNDICE V: CÁLCULOS Y RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

ACI 318 (NTP E.060)/ ASTM C469																				
f' c de diseño:		350 Kg/cm ²		TIPO DE MEZCLA:		PLASTICA		PROBETA (Cod.):		28d-0%-E7		PESO (Kg):		12.404						
AGREGADOS:				CANTERA LA VICTORIA						FECHA DE ELABORACIÓN:		05/02/2019		FECHA DE ENSAYO:		05/03/2019				
CEMENTO:				PORTLAND TIPO I - CEMENTOS PACASMAYO - BOLSA VERDE						EDAD (Días):				28 días						
ADITIVO:				SIN ADITIVO						DIÁMETRO (cm):		15		LONGITUD (cm):		30				
CARGA ÚLTIMA (Tn):				63.5						TÉCNICO DE LAB.:				Ing. Germán Chafo						
CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC	CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC	CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC	CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC	
1.00	0.09	0.31	5.66	5.56	57.00	2.65	8.83	322.55	322.30	61.00	2.76	9.20	345.19	345.46	63.00	2.80	9.33	356.51	354.75	
2.00	0.19	0.63	11.32	10.95	58.00	2.68	8.93	328.21	328.35	62.00	2.78	9.27	350.85	350.03	63.50	2.82	9.40	359.34	359.62	
3.00	0.32	1.07	16.98	17.13	59.00	2.70	9.00	333.87	332.48											
4.00	0.47	1.57	22.64	23.04	60.00	2.73	9.10	339.53	338.85											
5.00	0.61	2.03	28.29	28.02																
6.00	0.78	2.60	33.95	34.75																
7.00	0.88	2.93	39.61	39.73																
8.00	0.96	3.20	45.27	44.55																
9.00	1.04	3.47	50.93	50.27																
10.00	1.11	3.70	56.59	56.11																
11.00	1.17	3.90	62.25	61.78																
12.00	1.23	4.10	67.91	68.10																
13.00	1.28	4.27	73.56	73.86																
14.00	1.32	4.40	79.22	78.80																
15.00	1.37	4.57	84.88	85.39																
16.00	1.41	4.70	90.54	90.97																
17.00	1.45	4.83	96.20	96.83																
18.00	1.49	4.97	101.86	102.96																
19.00	1.52	5.07	107.52	107.73																
20.00	1.55	5.17	113.18	112.63																
21.00	1.59	5.30	118.84	119.37																
22.00	1.62	5.40	124.49	124.57																
23.00	1.65	5.50	130.15	129.88																
24.00	1.68	5.60	135.81	135.30																
25.00	1.71	5.70	141.47	140.82																
26.00	1.74	5.80	147.13	146.43																
27.00	1.77	5.90	152.79	152.12																
28.00	1.80	6.00	158.45	157.87																
29.00	1.83	6.10	164.11	163.69																
30.00	1.86	6.20	169.76	169.57																
31.00	1.89	6.30	175.42	175.48																
32.00	1.92	6.40	181.08	181.43																
33.00	1.95	6.50	186.74	187.40																
34.00	1.98	6.60	192.40	193.38																
35.00	2.00	6.67	198.06	197.38																
36.00	2.03	6.77	203.72	203.37																
37.00	2.06	6.87	209.38	209.35																
38.00	2.09	6.97	215.04	215.32																
39.00	2.11	7.03	220.69	219.28																
40.00	2.14	7.13	226.35	225.21																
41.00	2.17	7.23	232.01	231.10																
42.00	2.20	7.33	237.67	236.96																
43.00	2.23	7.43	243.33	242.79																
44.00	2.27	7.57	248.99	250.48																
45.00	2.30	7.67	254.65	256.21																
46.00	2.32	7.73	260.31	260.01																
47.00	2.35	7.83	265.96	265.67																
48.00	2.38	7.93	271.62	271.30																
49.00	2.41	8.03	277.28	276.90																
50.00	2.44	8.13	282.94	282.49																
51.00	2.47	8.23	288.60	288.06																
52.00	2.5	8.33	294.26	293.65																
53.00	2.53	8.43	299.92	299.25																
54.00	2.56	8.53	305.58	304.90																
55.00	2.59	8.63	311.24	310.60																
56.00	2.62	8.73	316.89	316.39																

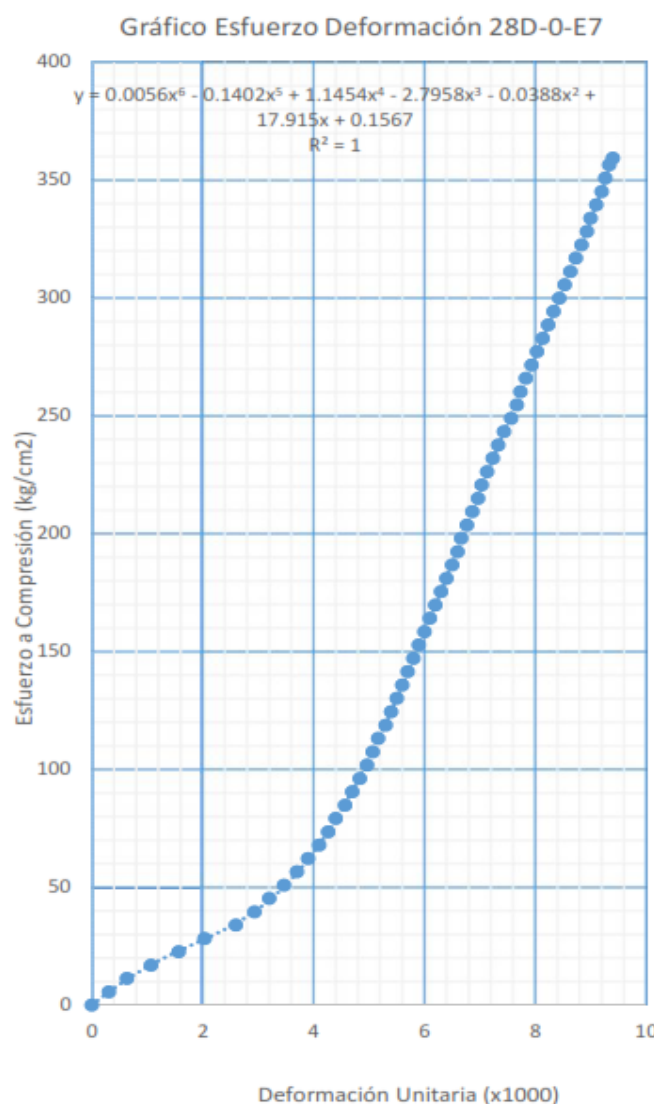


Figura 25: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E7, sin aditivo de grafeno a los 28 días

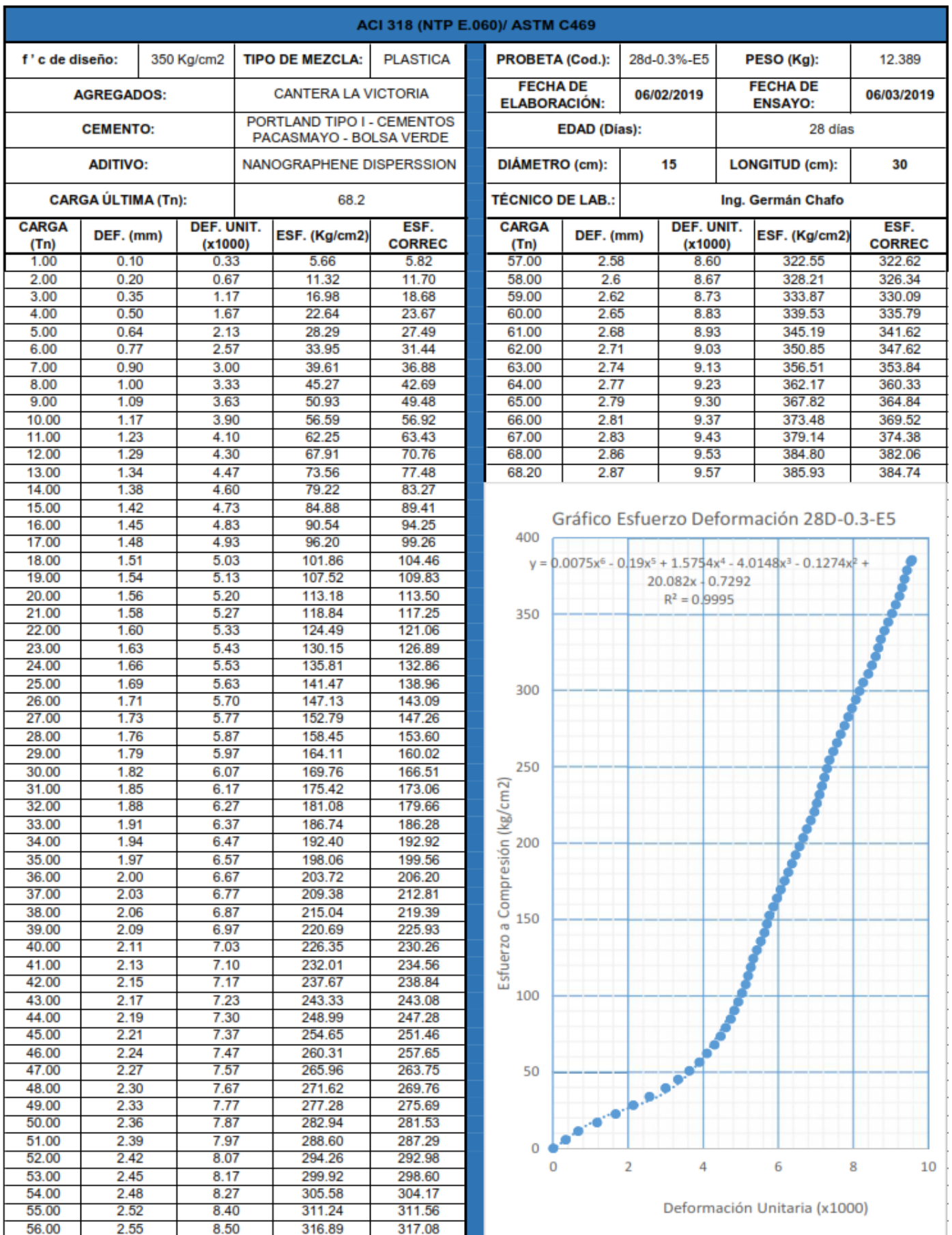


Figura 26: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E5, con aditivo de grafeno al 0.30% a los 28 días

ACI 318 (NTP E.060)/ ASTM C469															
f' c de diseño:		350 Kg/cm ²		TIPO DE MEZCLA:		PLASTICA		PROBETA (Cod.):		28d-0.4%-E8		PESO (Kg):		12.394	
AGREGADOS:				CANTERA LA VICTORIA				FECHA DE ELABORACIÓN:		07/02/2019		FECHA DE ENSAYO:		07/03/2019	
CEMENTO:				PORTLAND TIPO I - CEMENTOS PACASMAYO - BOLSA VERDE				EDAD (Días):				28 días			
ADITIVO:				NANOGRAPHENE DISPERSION				DIÁMETRO (cm):		15		LONGITUD (cm):		30	
CARGA ÚLTIMA (Tn):				74				TÉCNICO DE LAB.:				Ing. Germán Chafo			
CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC	CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC						
1.00	0.09	0.31	5.66	7.01	57.00	2.45	8.17	322.55	321.73						
2.00	0.18	0.60	11.32	12.18	58.00	2.48	8.27	328.21	327.51						
3.00	0.34	1.13	16.98	17.92	59.00	2.51	8.37	333.87	333.28						
4.00	0.49	1.63	22.64	22.04	60.00	2.55	8.50	339.53	340.95						
5.00	0.60	2.00	28.29	25.82	61.00	2.58	8.60	345.19	346.70						
6.00	0.74	2.47	33.95	32.80	62.00	2.6	8.67	350.85	350.53						
7.00	0.84	2.80	39.61	39.75	63.00	2.63	8.77	356.51	356.30						
8.00	0.90	3.00	45.27	44.79	64.00	2.66	8.87	362.17	362.08						
9.00	0.96	3.20	50.93	50.52	65.00	2.69	8.97	367.82	367.88						
10.00	1.02	3.40	56.59	56.95	66.00	2.72	9.07	373.48	373.73						
11.00	1.07	3.57	62.25	62.82	67.00	2.75	9.17	379.14	379.62						
12.00	1.12	3.73	67.91	69.16	68.00	2.78	9.27	384.80	385.57						
13.00	1.17	3.90	73.56	75.96	69.00	2.80	9.33	390.46	389.58						
14.00	1.21	4.03	79.22	81.71	70.00	2.83	9.43	396.12	395.66						
15.00	1.24	4.13	84.88	86.21	71.00	2.86	9.53	401.78	401.83						
16.00	1.27	4.23	90.54	90.85	72.00	2.88	9.60	407.44	406.01						
17.00	1.30	4.33	96.20	95.63	73.00	2.91	9.70	413.09	412.38						
18.00	1.34	4.47	101.86	102.21	74.00	2.94	9.80	418.75	418.88						
19.00	1.37	4.57	107.52	107.30											
20.00	1.40	4.67	113.18	112.51											
21.00	1.43	4.77	118.84	117.83											
22.00	1.47	4.90	124.49	125.09											
23.00	1.50	5.00	130.15	130.66											
24.00	1.52	5.07	135.81	134.42											
25.00	1.55	5.17	141.47	140.14											
26.00	1.58	5.27	147.13	145.93											
27.00	1.61	5.37	152.79	151.80											
28.00	1.64	5.47	158.45	157.73											
29.00	1.67	5.57	164.11	163.72											
30.00	1.70	5.67	169.76	169.77											
31.00	1.73	5.77	175.42	175.86											
32.00	1.76	5.87	181.08	181.99											
33.00	1.78	5.93	186.74	186.09											
34.00	1.80	6.00	192.40	190.20											
35.00	1.83	6.10	198.06	196.39											
36.00	1.86	6.20	203.72	202.60											
37.00	1.89	6.30	209.38	208.82											
38.00	1.92	6.40	215.04	215.04											
39.00	1.95	6.50	220.69	221.26											
40.00	1.98	6.60	226.35	227.47											
41.00	2.00	6.67	232.01	231.61											
42.00	2.03	6.77	237.67	237.81											
43.00	2.07	6.90	243.33	246.04											
44.00	2.10	7.00	248.99	252.19											
45.00	2.13	7.10	254.65	258.32											
46.00	2.16	7.20	260.31	264.41											
47.00	2.18	7.27	265.96	268.46											
48.00	2.20	7.33	271.62	272.49											
49.00	2.22	7.40	277.28	276.51											
50.00	2.24	7.47	282.94	280.52											
51.00	2.27	7.57	288.60	286.50											
52.00	2.30	7.67	294.26	292.45											
53.00	2.33	7.77	299.92	298.36											
54.00	2.36	7.87	305.58	304.25											
55.00	2.39	7.97	311.24	310.10											
56.00	2.42	8.07	316.89	315.93											

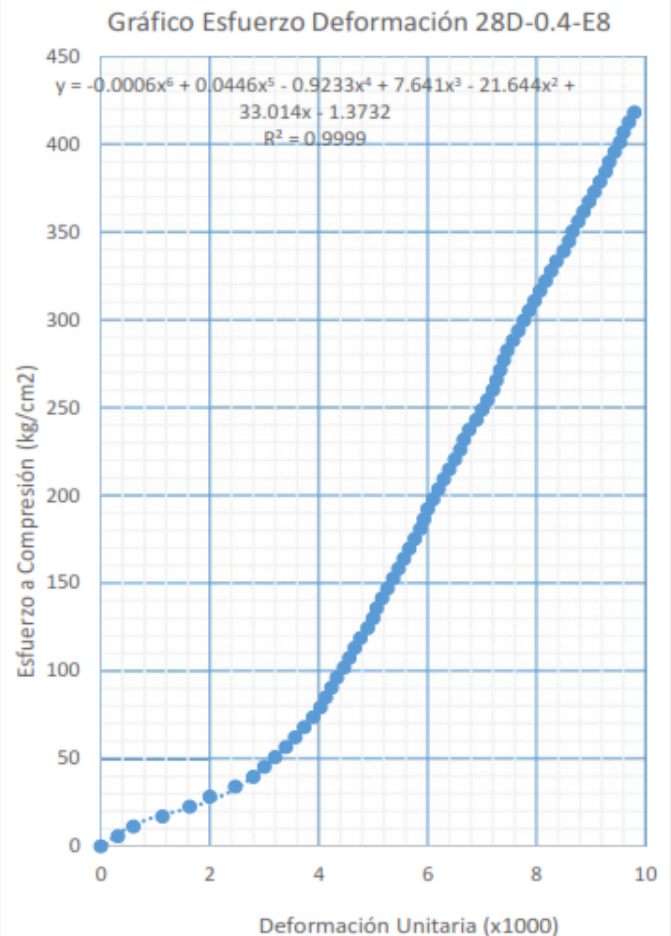


Figura 27: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E8, con aditivo de grafeno al 0.40% a los 28 días

ACI 318 (NTP E.060)/ ASTM C469															
f' c de diseño:		350 Kg/cm ²		TIPO DE MEZCLA:		PLASTICA		PROBETA (Cod.):		28d-0.5%-E4		PESO (Kg):		12.388	
AGREGADOS:				CANTERA LA VICTORIA				FECHA DE ELABORACIÓN:		08/02/2019		FECHA DE ENSAYO:		08/03/2019	
CEMENTO:				PORTLAND TIPO I - CEMENTOS PACASMAYO - BOLSA VERDE				EDAD (Días):				28 días			
ADITIVO:				NANOGRAPHENE DISPERSION				DIÁMETRO (cm):		15		LONGITUD (cm):		30	
CARGA ÚLTIMA (Tn):				77.5				TÉCNICO DE LAB.:				Ing. Germán Chafo			
CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC	CARGA (Tn)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (x1000)	ESF. (Kg/cm ²)	ESF. CORREC						
1.00	0.11	0.37	5.66	9.16	57.00	2.51	8.37	322.55	322.45						
2.00	0.23	0.77	11.32	13.91	58.00	2.54	8.47	328.21	328.37						
3.00	0.42	1.40	16.98	15.49	59.00	2.57	8.57	333.87	334.36						
4.00	0.57	1.90	22.64	18.06	60.00	2.60	8.67	339.53	340.41						
5.00	0.70	2.33	28.29	23.90	61.00	2.63	8.77	345.19	346.52						
6.00	0.83	2.77	33.95	33.93	62.00	2.66	8.87	350.85	352.68						
7.00	0.90	3.00	39.61	41.09	63.00	2.68	8.93	356.51	356.81						
8.00	0.96	3.20	45.27	48.15	64.00	2.70	9.00	362.17	360.96						
9.00	1.02	3.40	50.93	56.00	65.00	2.73	9.10	367.82	367.20						
10.00	1.04	3.47	56.59	58.78	66.00	2.76	9.20	373.48	373.47						
11.00	1.08	3.60	62.25	64.56	67.00	2.79	9.30	379.14	379.74						
12.00	1.11	3.70	67.91	69.09	68.00	2.81	9.37	384.80	383.91						
13.00	1.14	3.80	73.56	73.76	69.00	2.84	9.47	390.46	390.14						
14.00	1.18	3.93	79.22	80.19	70.00	2.87	9.57	396.12	396.32						
15.00	1.21	4.03	84.88	85.16	71.00	2.90	9.67	401.78	402.43						
16.00	1.24	4.13	90.54	90.24	72.00	2.93	9.77	407.44	408.44						
17.00	1.27	4.23	96.20	95.42	73.00	2.96	9.87	413.09	414.30						
18.00	1.30	4.33	101.86	100.68	74.00	2.99	9.97	418.75	420.00						
19.00	1.33	4.43	107.52	106.02	75.00	3.02	10.07	424.41	425.48						
20.00	1.36	4.53	113.18	111.43	76.00	3.05	10.17	430.07	430.71						
21.00	1.39	4.63	118.84	116.89	77.00	3.08	10.27	435.73	435.63						
22.00	1.42	4.73	124.49	122.39	77.50	3.09	10.30	438.56	437.19						
23.00	1.46	4.87	130.15	129.78											
24.00	1.49	4.97	135.81	135.36											
25.00	1.52	5.07	141.47	140.95											
26.00	1.55	5.17	147.13	146.55											
27.00	1.58	5.27	152.79	152.15											
28.00	1.61	5.37	158.45	157.75											
29.00	1.64	5.47	164.11	163.34											
30.00	1.67	5.57	169.76	168.92											
31.00	1.70	5.67	175.42	174.48											
32.00	1.73	5.77	181.08	180.02											
33.00	1.77	5.90	186.74	187.37											
34.00	1.80	6.00	192.40	192.85											
35.00	1.84	6.13	198.06	200.13											
36.00	1.87	6.23	203.72	205.56											
37.00	1.90	6.33	209.38	210.97											
38.00	1.93	6.43	215.04	216.36											
39.00	1.96	6.53	220.69	221.73											
40.00	1.99	6.63	226.35	227.09											
41.00	2.02	6.73	232.01	232.43											
42.00	2.05	6.83	237.67	237.77											
43.00	2.08	6.93	243.33	243.10											
44.00	2.12	7.07	248.99	250.22											
45.00	2.15	7.17	254.65	255.57											
46.00	2.18	7.27	260.31	260.93											
47.00	2.21	7.37	265.96	266.31											
48.00	2.24	7.47	271.62	271.72											
49.00	2.27	7.57	277.28	277.17											
50.00	2.30	7.67	282.94	282.65											
51.00	2.33	7.77	288.60	288.17											
52.00	2.36	7.87	294.26	293.74											
53.00	2.39	7.97	299.92	299.36											
54.00	2.42	8.07	305.58	305.04											
55.00	2.45	8.17	311.24	310.78											
56.00	2.48	8.27	316.89	316.58											

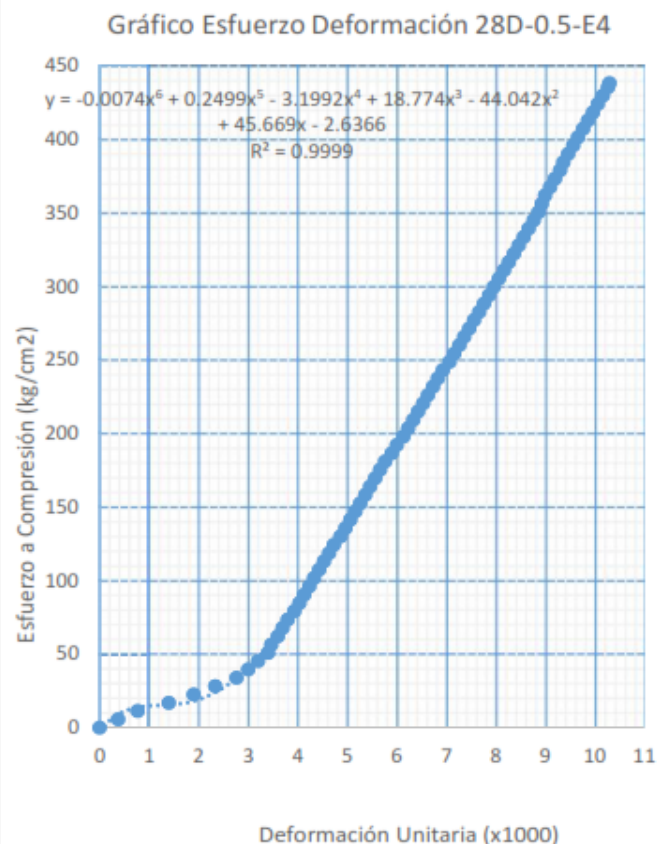


Figura 28: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E4, con aditivo de grafeno al 0.50% a los 28 días

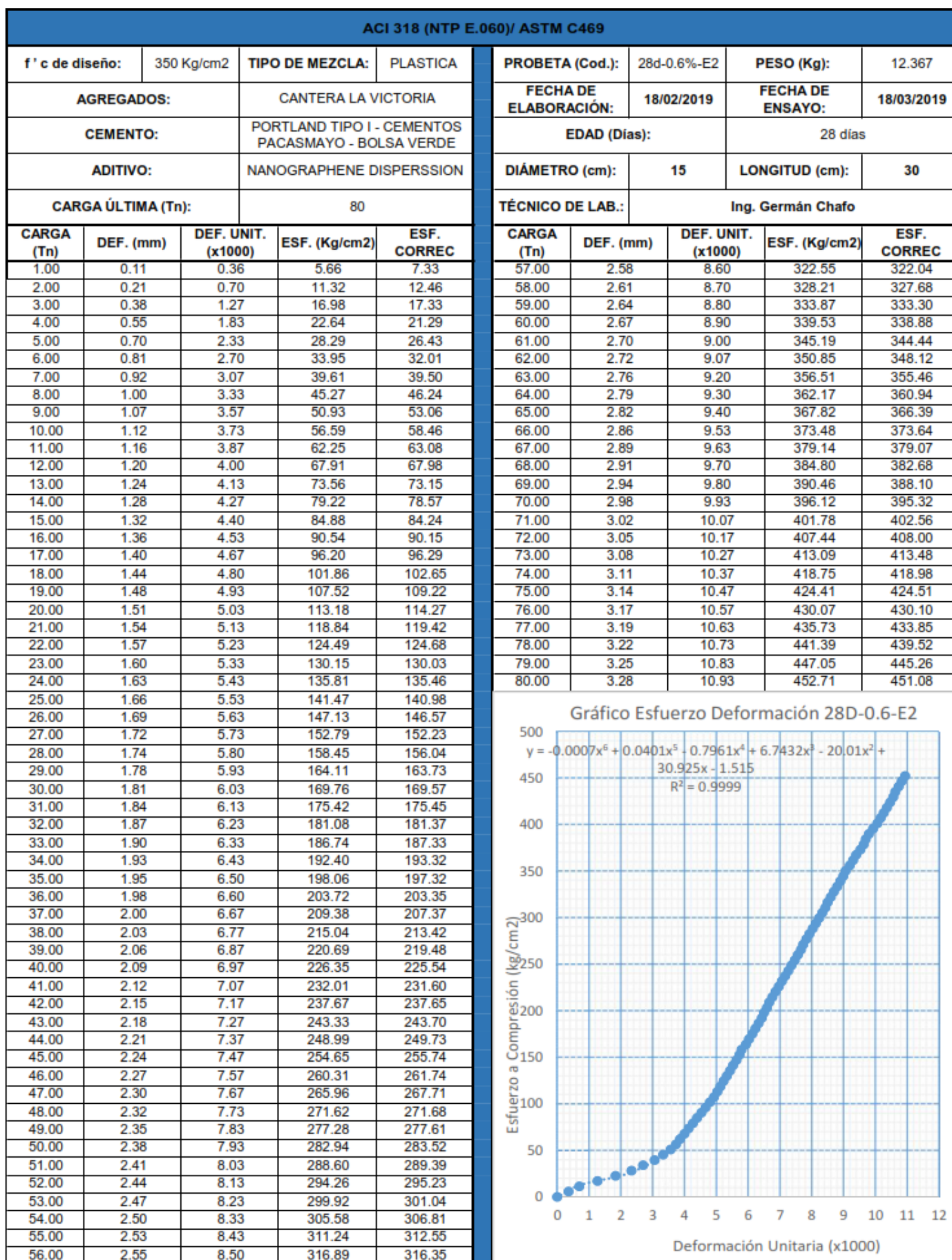


Figura 29: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E2, con aditivo de grafeno al 0.60% a los 28 días

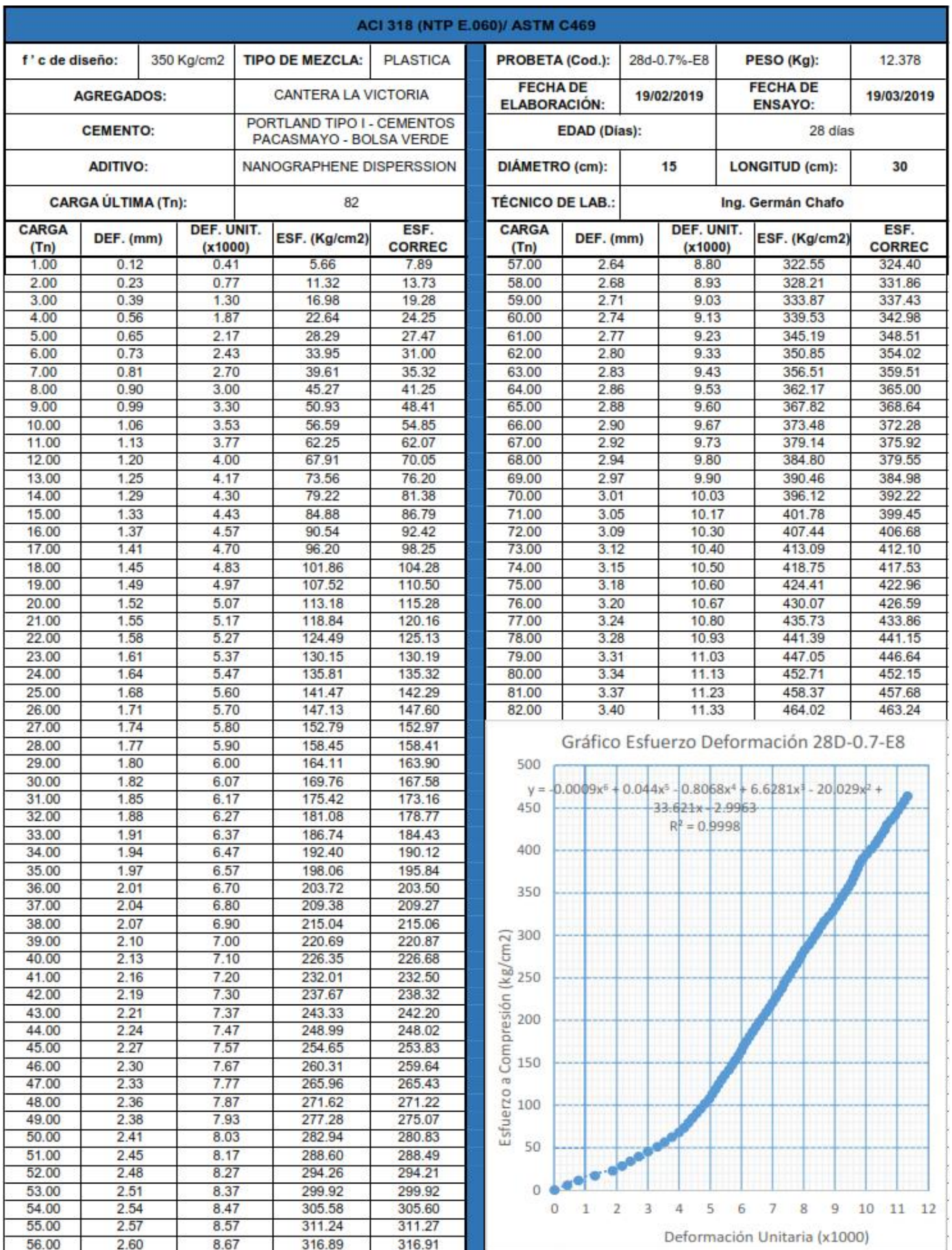


Figura 30: Ensayo a compresión espécimen cilíndrico E7, con aditivo de grafeno al 0.70% a los 28 días

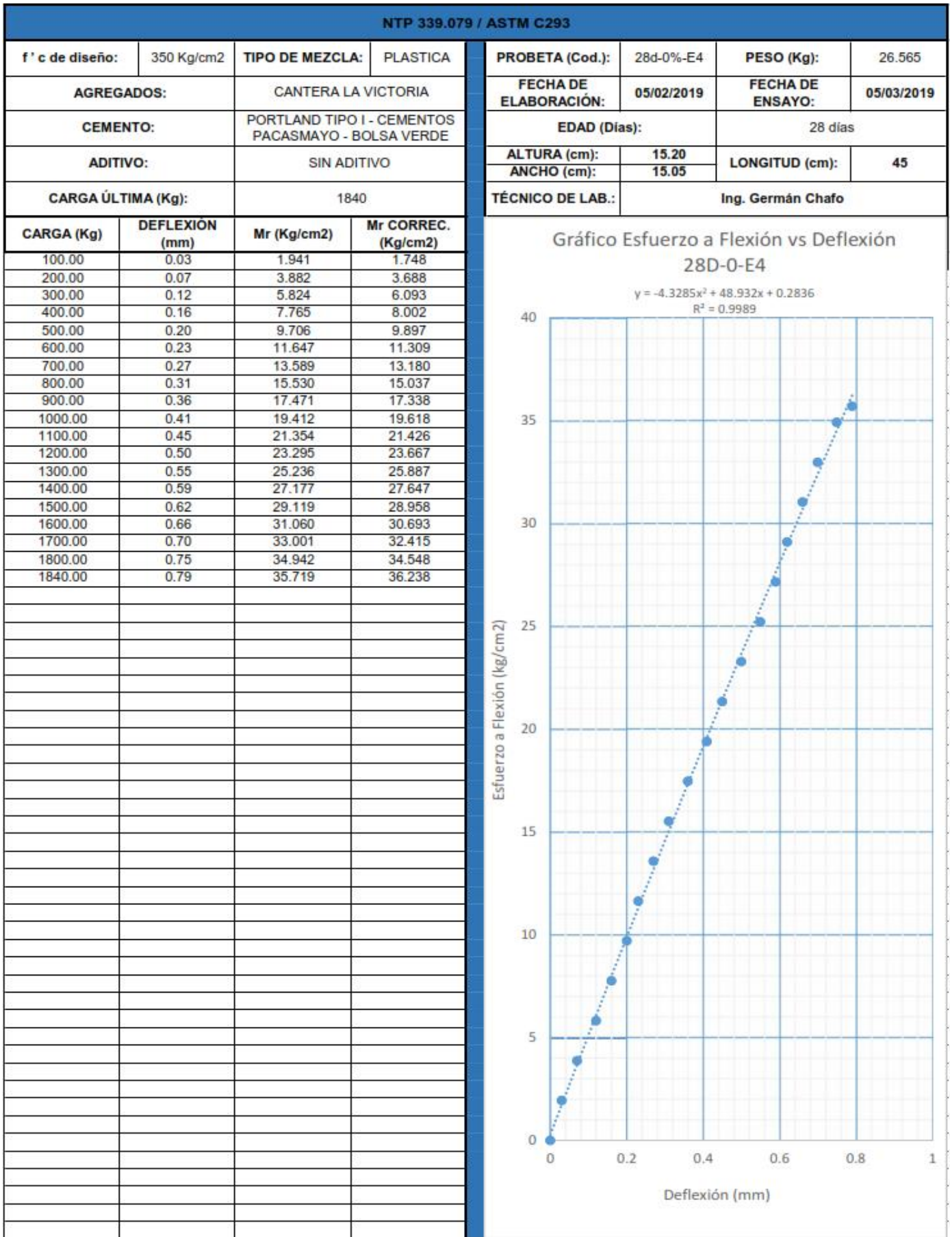


Figura 31: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E4, sin aditivo de grafeno a los 28 días

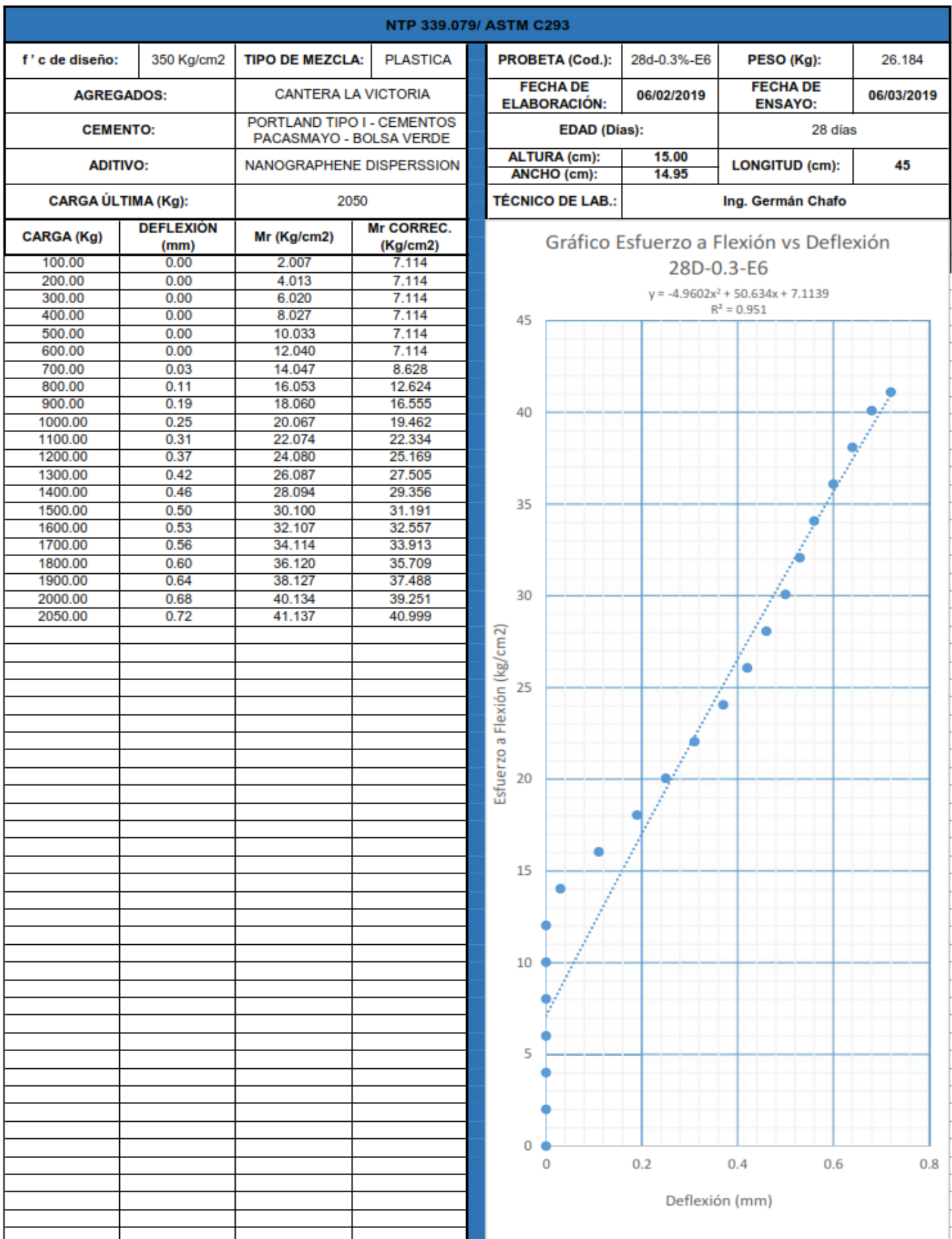


Figura 32: Ensayo a flexión (M_r) del espécimen prismático E6, con aditivo de grafeno al 0.30% a los 28 días

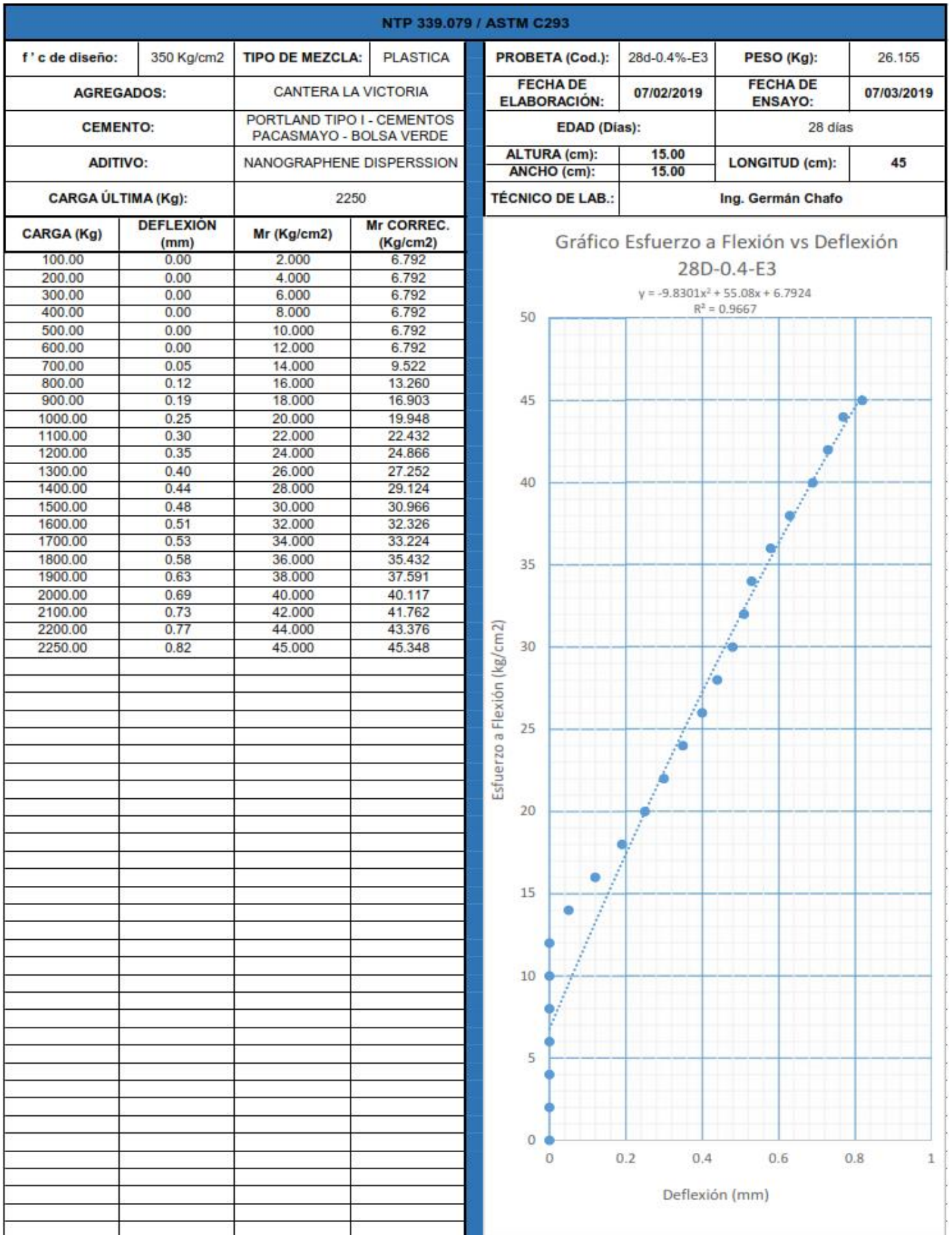


Figura 33: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E3, con aditivo de grafeno al 0.40% a los 28 días

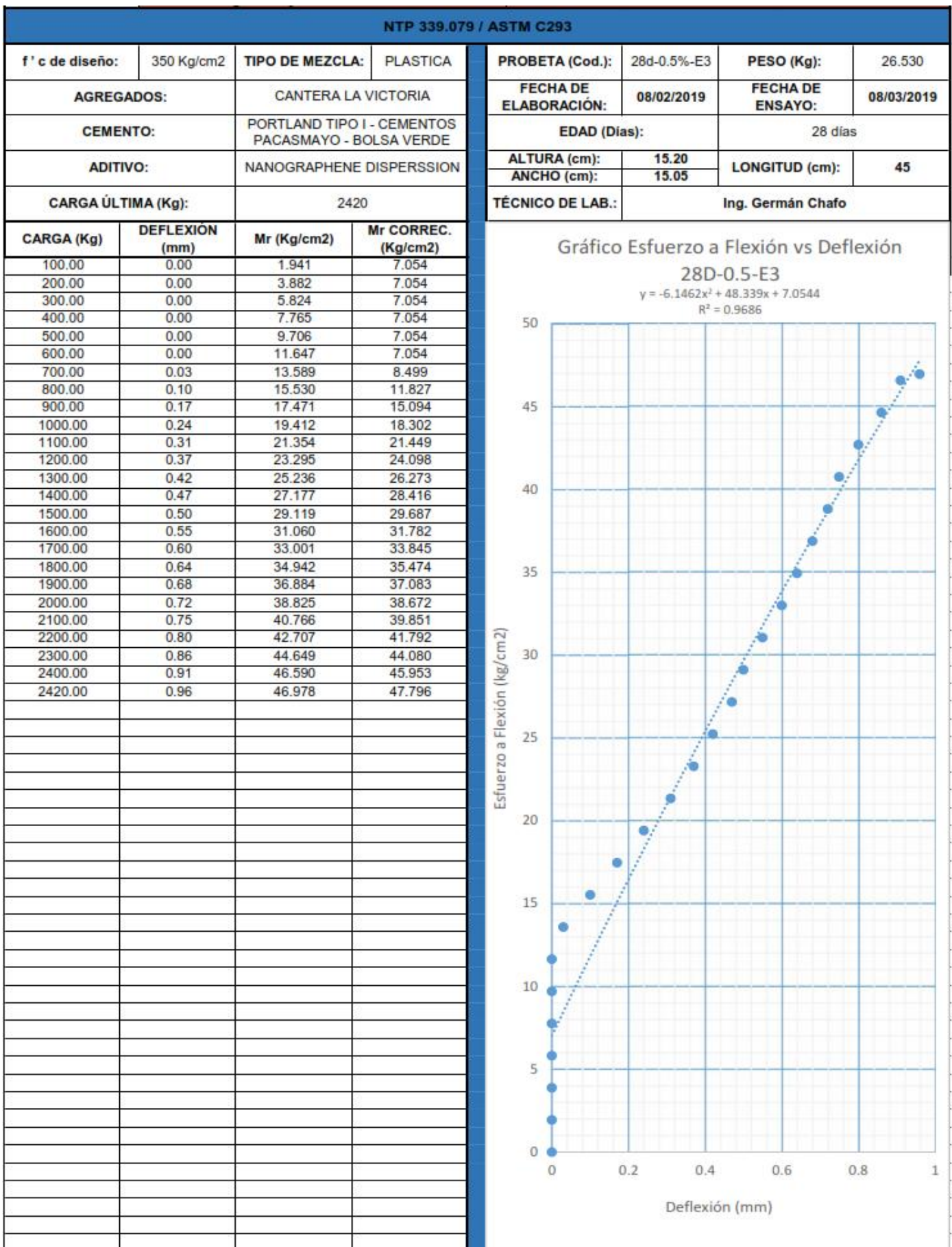


Figura 34: Ensayo a flexión (Mr) del espécimen prismático E3, con aditivo de grafeno al 0.50% a los 28 días

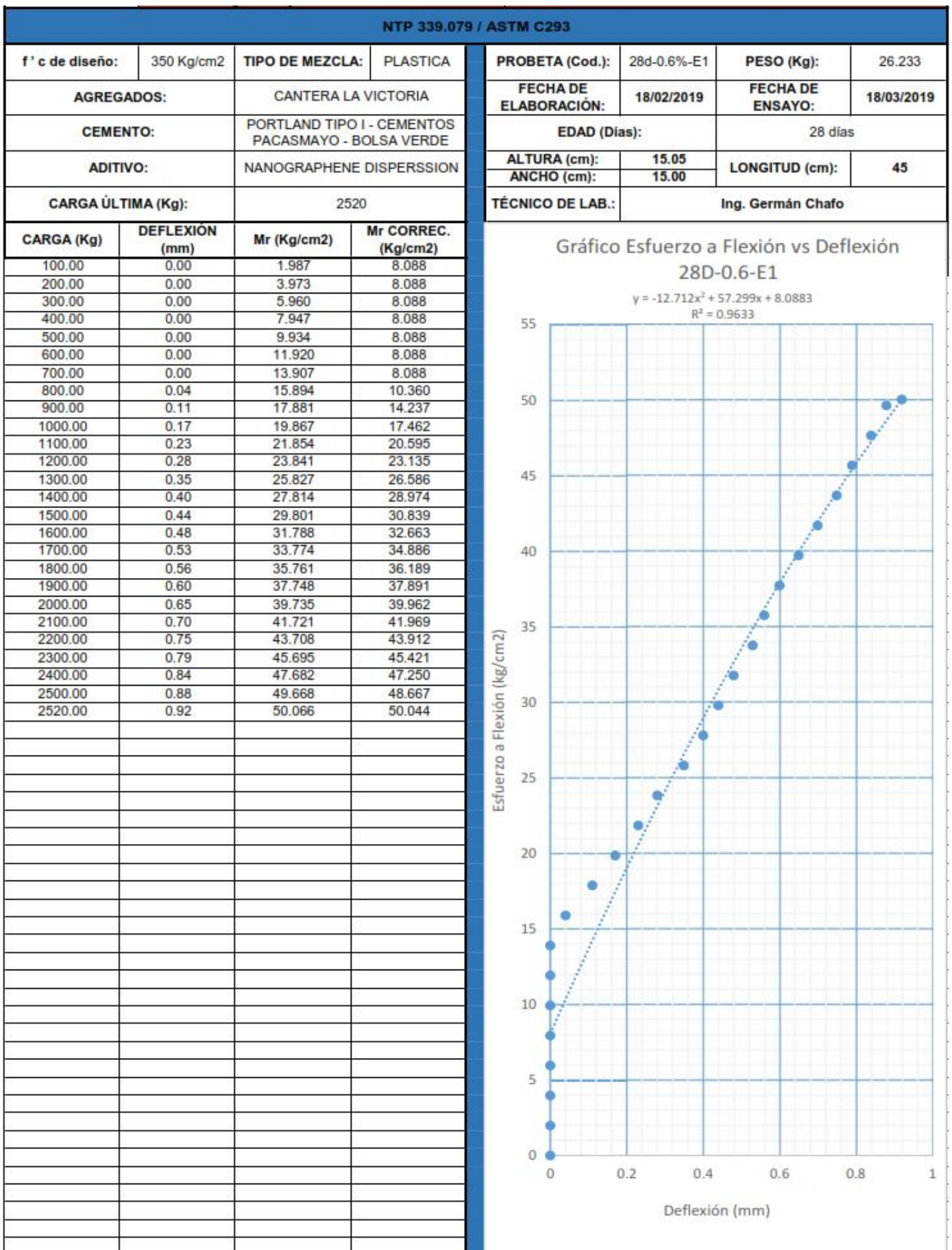


Figura 35: Ensayo a flexión (M_r) del espécimen prismático E1, con aditivo de grafeno al 0.60% a los 28 días

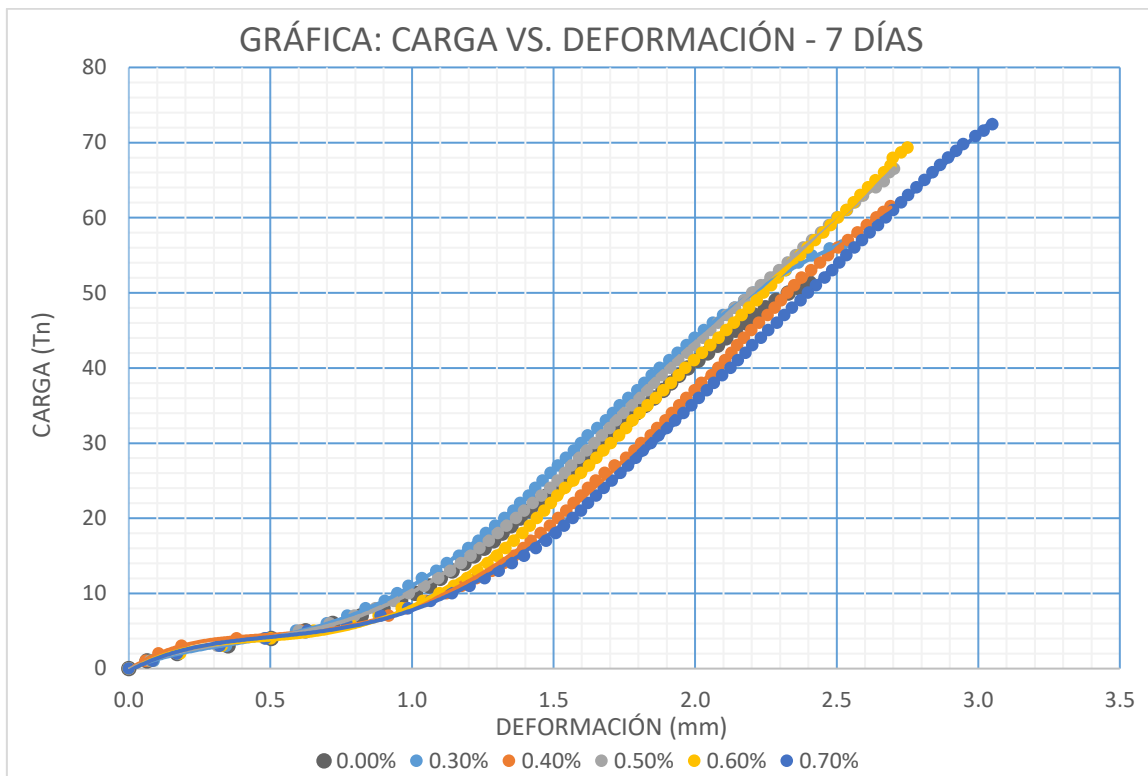


Figura 37: Gráfica carga Vs. deformación de especímenes cilíndricos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 7 días

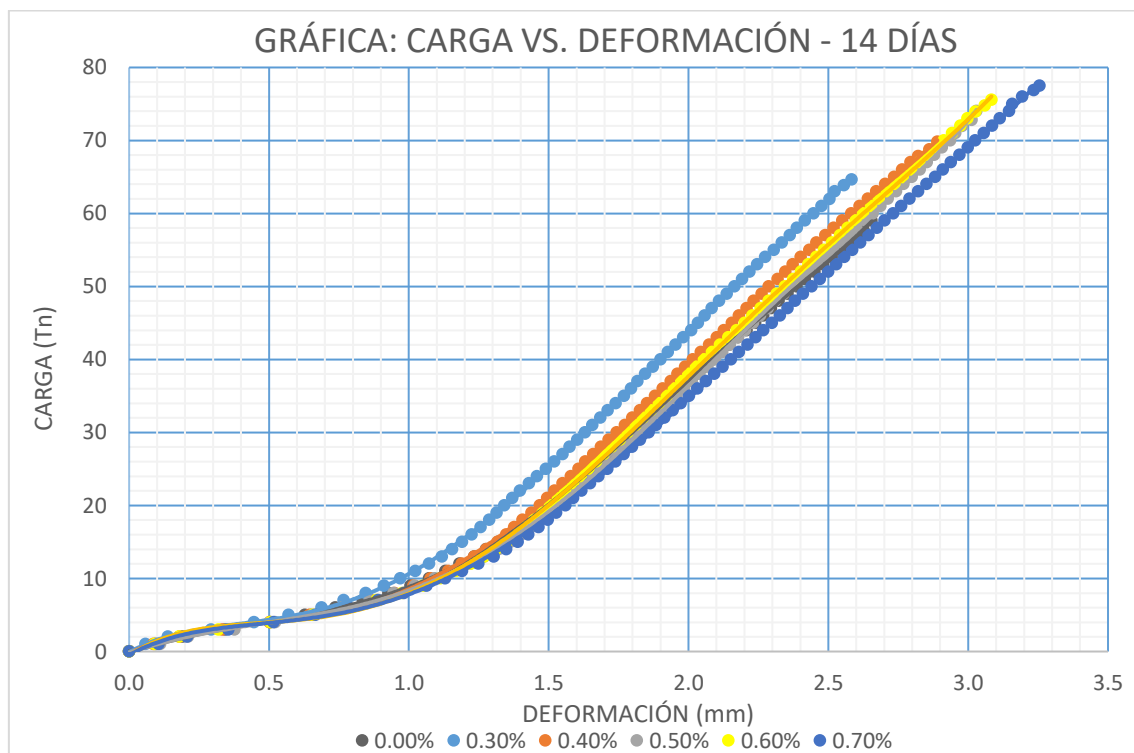


Figura 38: Gráfica carga Vs. deformación de especímenes cilíndricos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 14 días

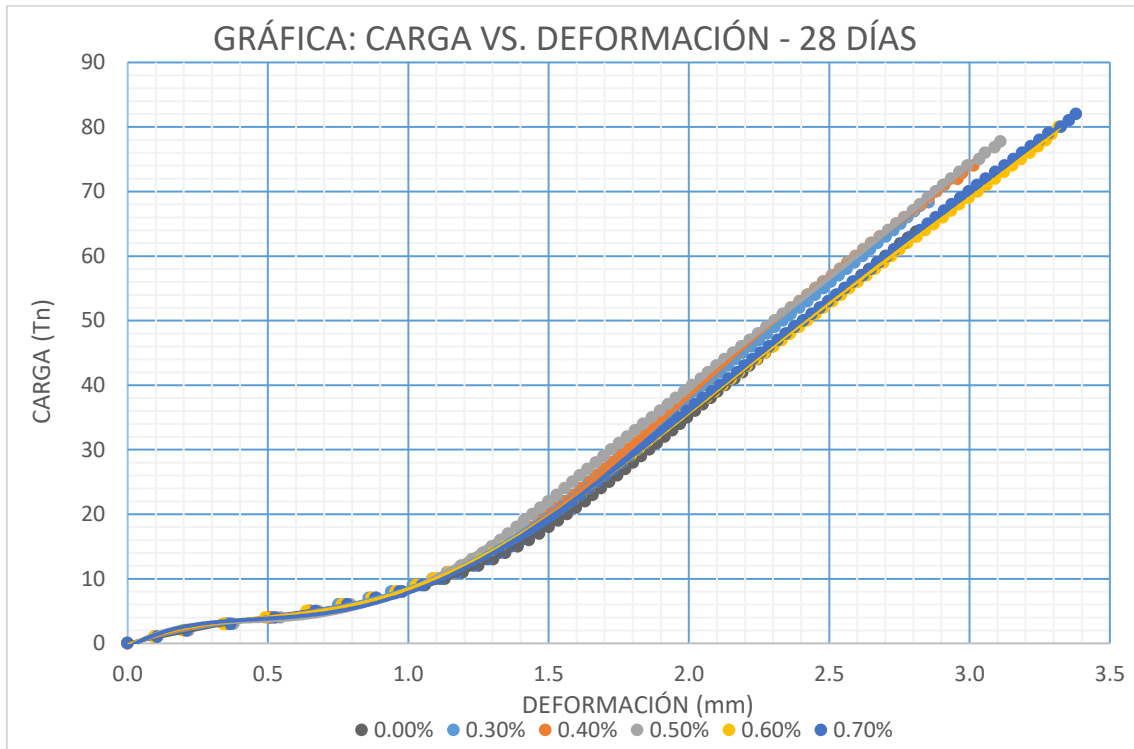


Figura 39: Gráfica carga Vs. deformación de especímenes cilíndricos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70% a los 28 días

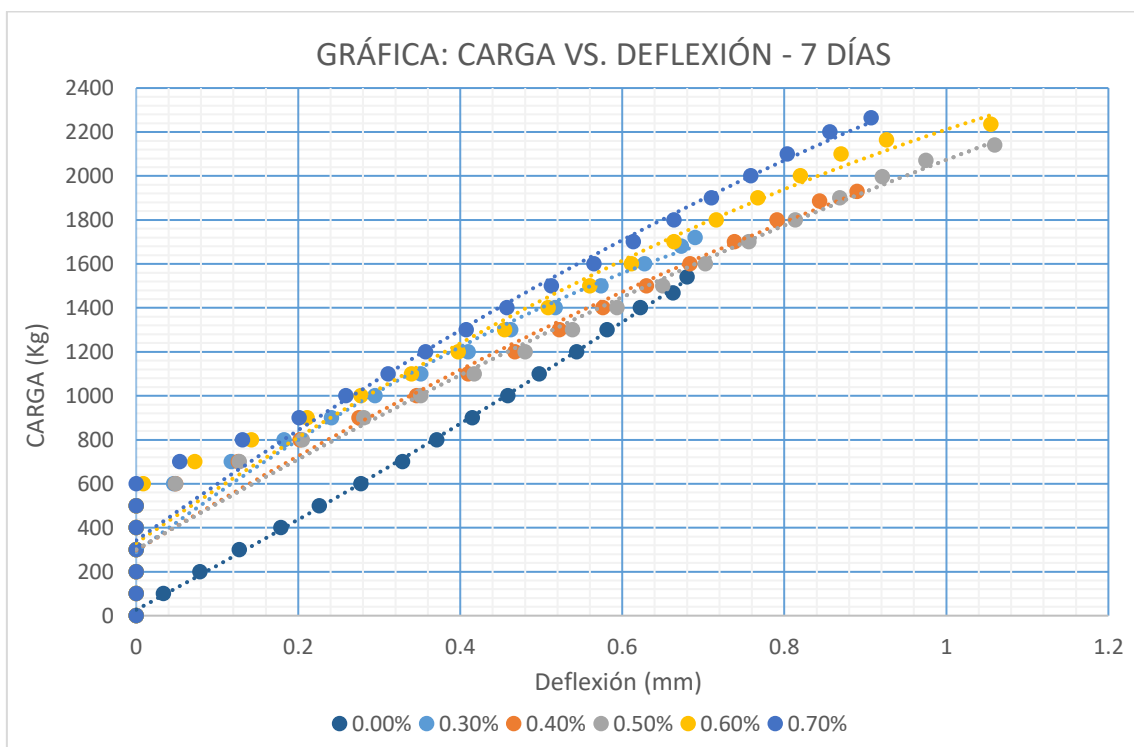


Figura 40: Gráfica carga Vs. deflexión de especímenes prismáticos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70% a los 7 días

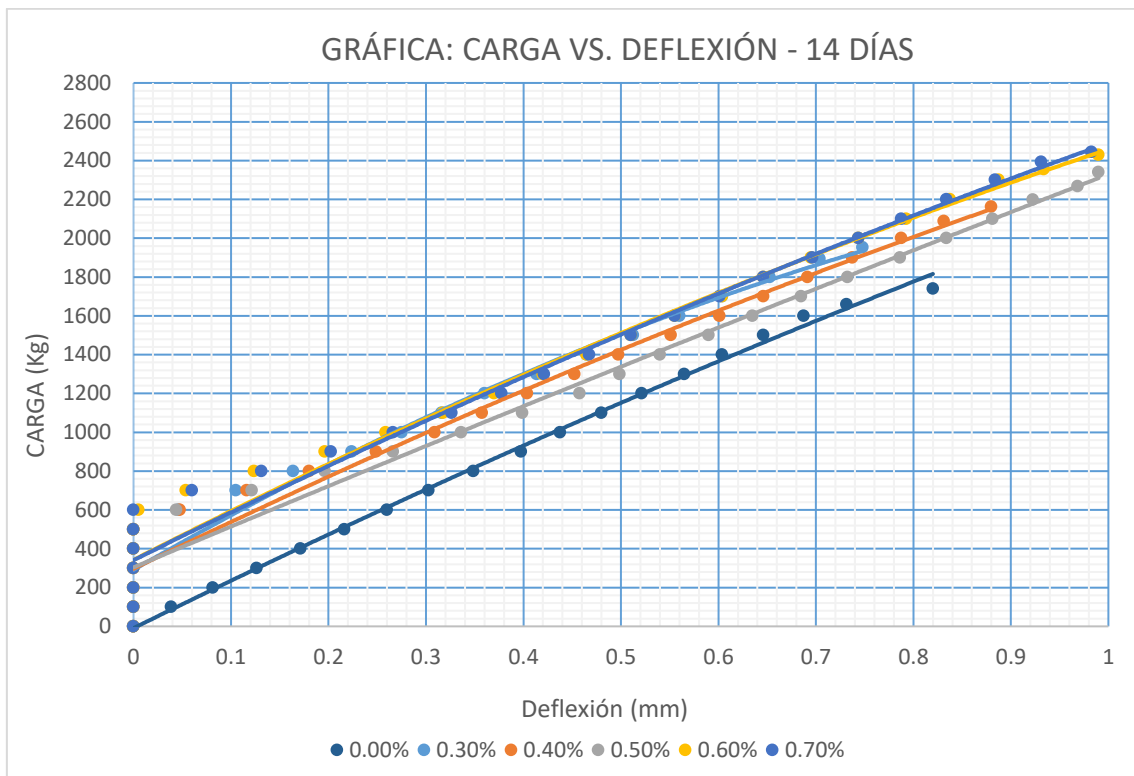


Figura 41: Gráfica carga Vs. deflexión de especímenes prismáticos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 14 días

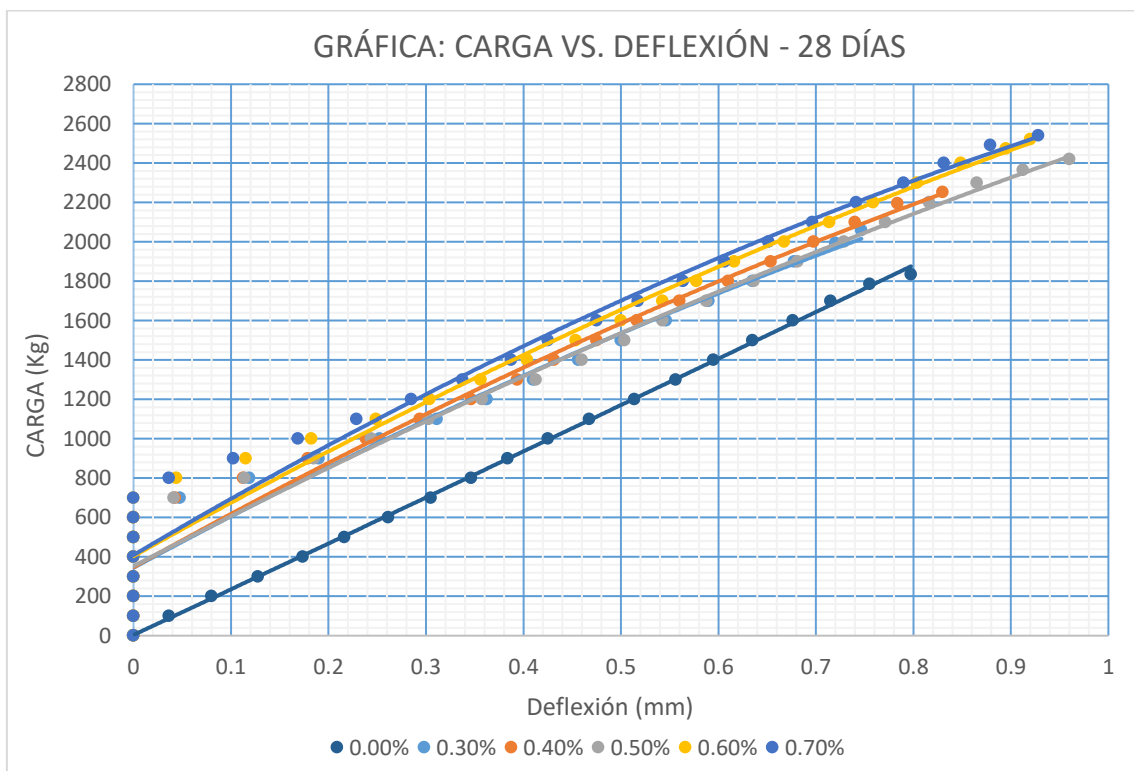


Figura 42: Gráfica carga Vs. deflexión de especímenes prismáticos con 0%, 0.30%, 0.40%, 0.50%,0.60% y 0.70% a los 28 días

APÉNDICE VI: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS ESTADÍSTICO RESISTENCIA A COMPRESIÓN

COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

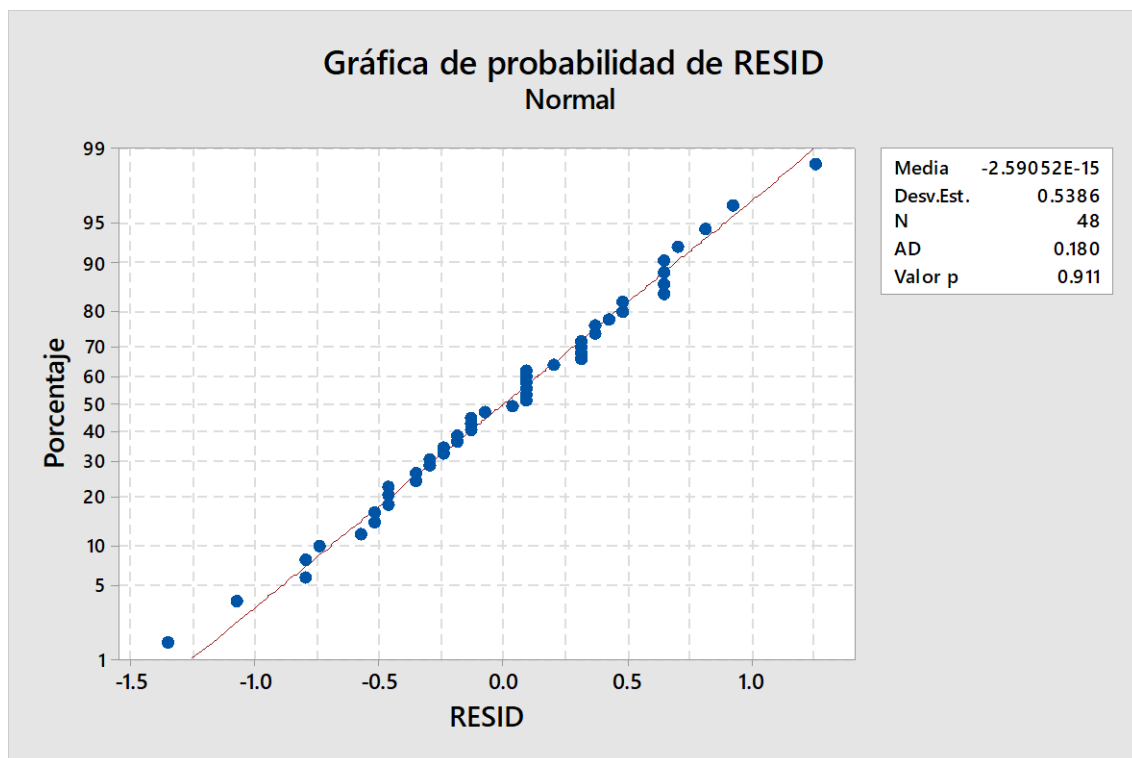


Figura 43: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 7 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

$$AD = 0.180$$

Valor P = 0.911

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.911 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: con una significancia del 5% (0.050) se cumple el supuesto de normalidad.

b. Homogeneidad de Varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Por lo tanto

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

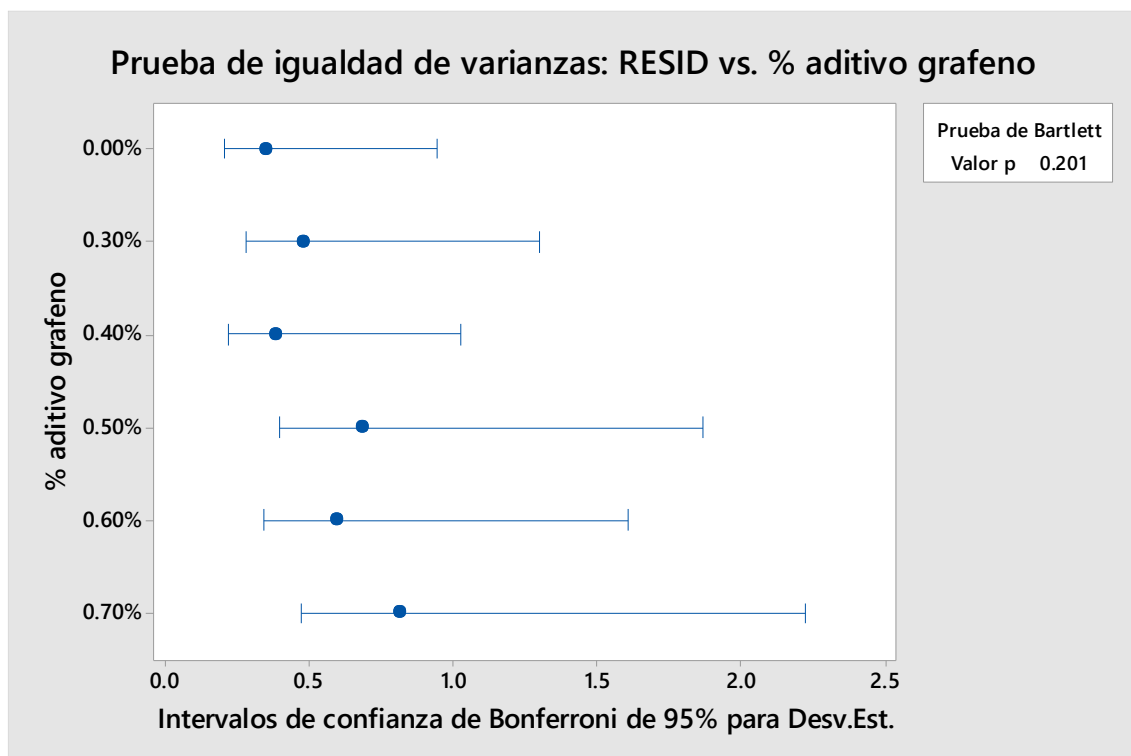


Figura 44: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 7 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

Bartlett: 7.28

Valor P: 0.201

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.201 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

2° Análisis de Varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a compresión del diseño del concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

$H_1:$ Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 426.53$$

$$\text{Valor P} = 0.0000$$

Decisión: Como Valor P es menor que α ($0.0000 < 0.050$), entonces se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5%, al menos un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos que los otros porcentajes.

3° Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey)

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.30\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.30\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.00\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.00\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.40\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.40\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 115: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 7 días.

% aditivo grafeno	N	Media	Agrupación
0.70%	8	38.922	A
0.60%	8	37.646	B
0.50%	8	35.981	C
0.40%	8	33.761	D
0.30%	8	30.765	E
0.00%	8	28.101	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis: De la tabla 115 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto son significativamente diferentes, puesto que ningún porcentaje comparte una letra, estadísticamente estos conjuntos de medias son diferentes.

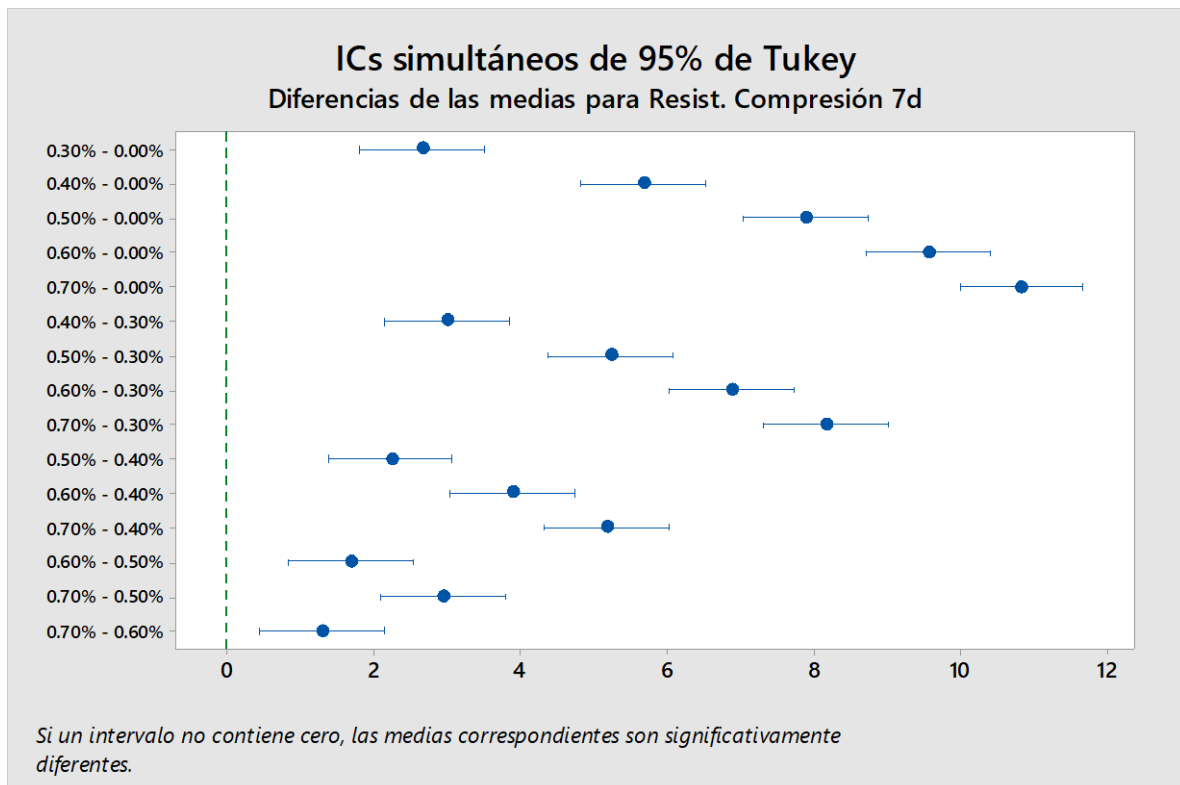


Figura 45: Diferencias de las medias para resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 7 días.

Análisis: Observamos que las medias de los distintos pares son significativamente diferentes puesto que no contienen al cero. El único par que se acerca al cero es el par 0.70%-0.60%.

Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.70% de aditivo de grafeno proporciona un mayor incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, porque tiene mayor promedio (38.92 Mpa).

COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

Verificamos:

1° **Verificar los supuestos:**

c. **Normalidad de los errores**

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

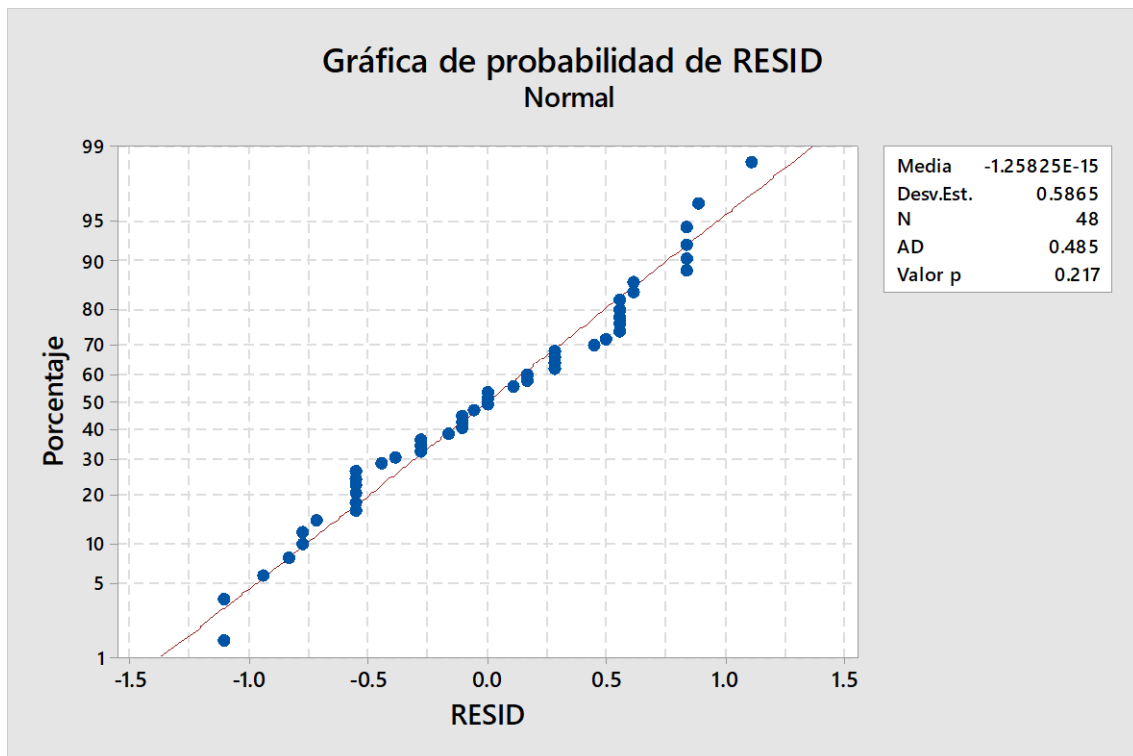


Figura 46: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 14 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

$$AD = 0.485$$

$$\text{Valor P} = 0.217$$

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.217 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: con una significancia del 5% (0.050) se cumple el supuesto de normalidad.

d. Homogeneidad de Varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Por lo tanto

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

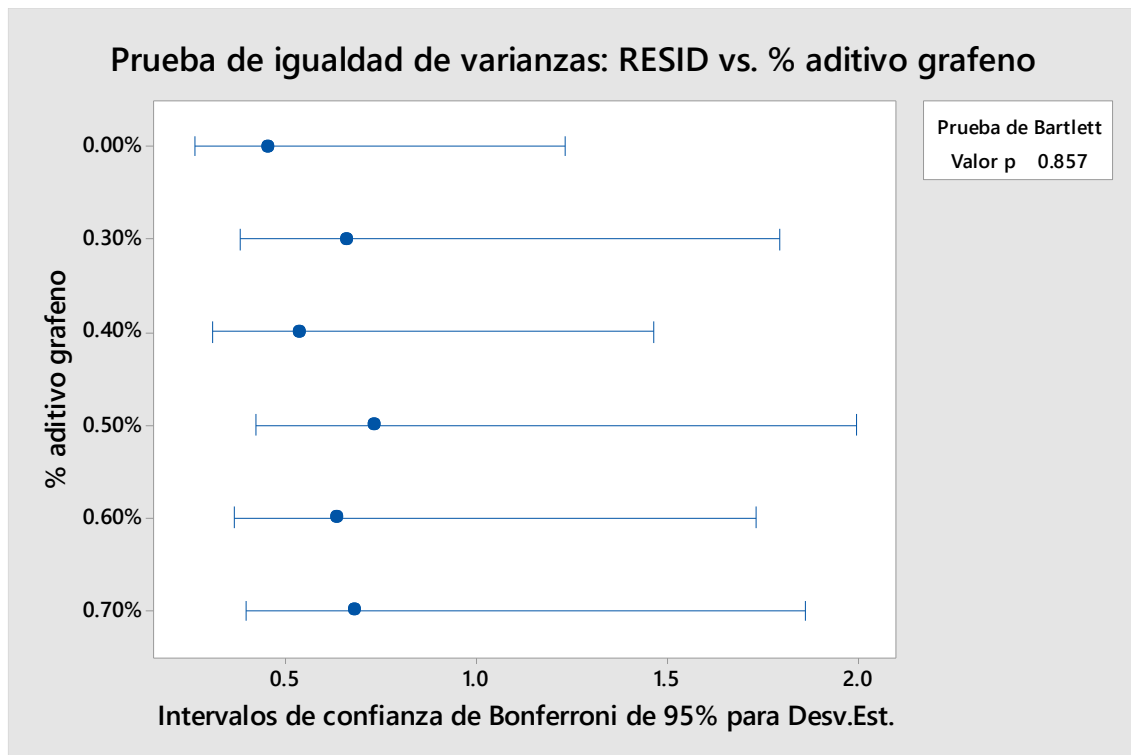


Figura 47: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 14 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

Bartlett: 1.95

Valor P: 0.857

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.857 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

2° Análisis de Varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a compresión del diseño del concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 318.94$$

$$\text{Valor } P = 0.0000$$

Decisión: Como Valor P es menor que α ($0.0000 < 0.050$), entonces se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5%, al menos un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos que los otros porcentajes.

3° Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey)

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.70\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.70\%}$$

$$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.60\%}$$

$$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.70\%}$$

$$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.70\%}$$

$$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$$

$$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$$

$$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$$

$$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$$

$$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$$

$$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 116: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 14 días.

% aditivo grafeno	N	Media	Agrupación
0.70%	8	42.176	A
0.60%	8	41.288	A
0.50%	8	39.956	B
0.40%	8	38.013	C
0.30%	8	35.239	D
0.00%	8	31.909	E

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis: De la tabla 116 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto son significativamente diferentes, excepto por los porcentajes 0.60% y 0.70% que comparten una misma letra, estadísticamente los demás conjuntos de medias son diferentes, mientras que para 0.60% y 0.70%, estos conjuntos de medias son similares.

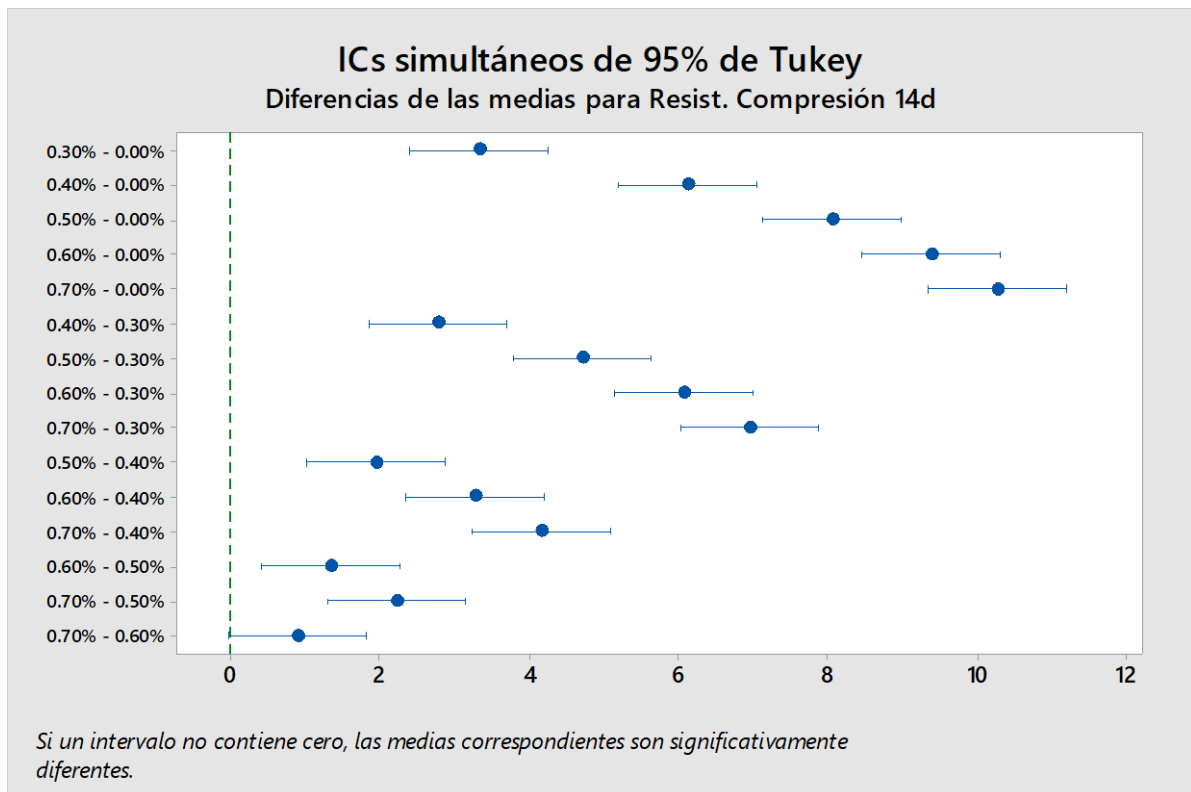


Figura 48: Diferencias de las medias para resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 14 días.

Análisis: Observamos que las medias de la mayoría de pares son significativamente diferentes puesto que no contienen al cero. El único par que contiene cero es el par 0.70%-0.60%

Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.70% de aditivo de grafeno proporciona un mayor incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, porque tiene mayor promedio (42.18 Mpa).

COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

c. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

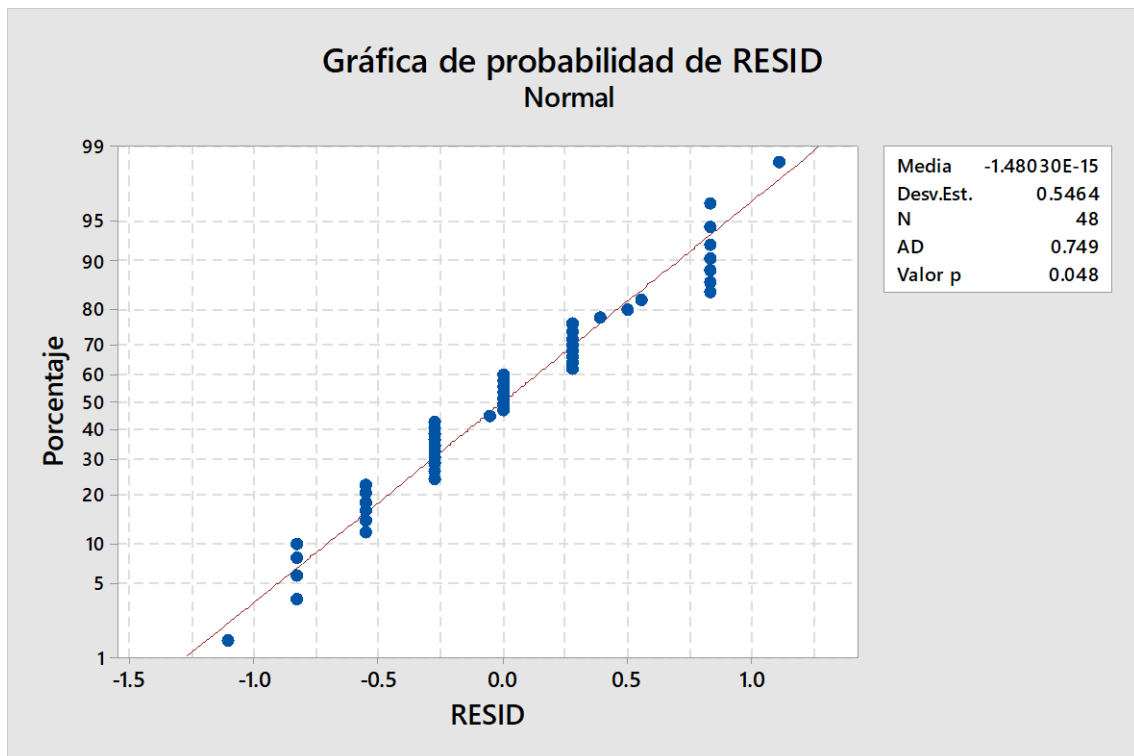


Figura 49: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.

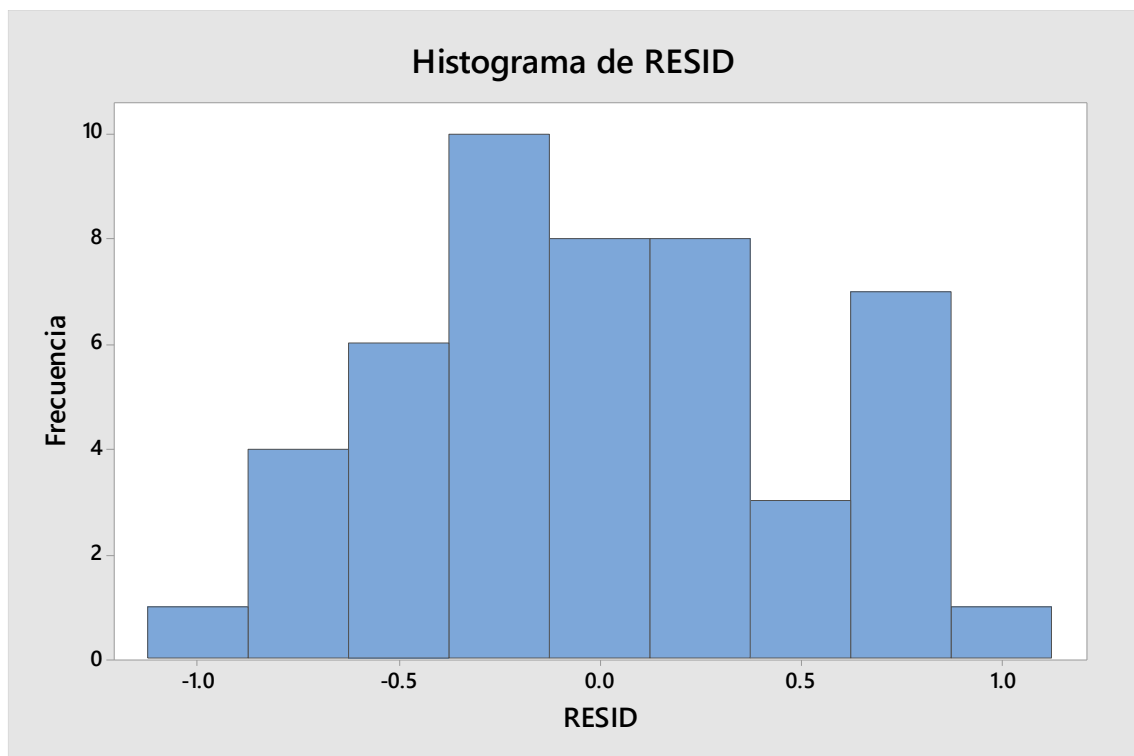


Figura 50: Prueba de normalidad con gráfica de histogramas de residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.005$$

Estadístico de prueba

$$AD = 0.749$$

$$\text{Valor P} = 0.048$$

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.048 > 0.005$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Se debe a que el programa Minitab reconoce que se debe rechazar la hipótesis nula en caso no cumpla con los supuestos de normalidad, es decir:

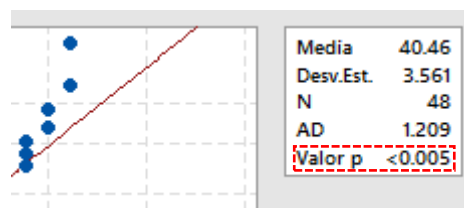


Figura 51: Rechazo de hipótesis nula, no cumple supuesto de normalidad de los residuos cuando Valor $p < 0.005$

Además, la gráfica de los histogramas si se distribuyen de la manera adecuada, esto quiere decir, los residuos se acumulan en forma de campana (Gauss), los datos están más centrados, Distribución Normal.

Conclusión: con una significancia del 5% (0.050) se cumple el supuesto de normalidad.

d. Homogeneidad de Varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

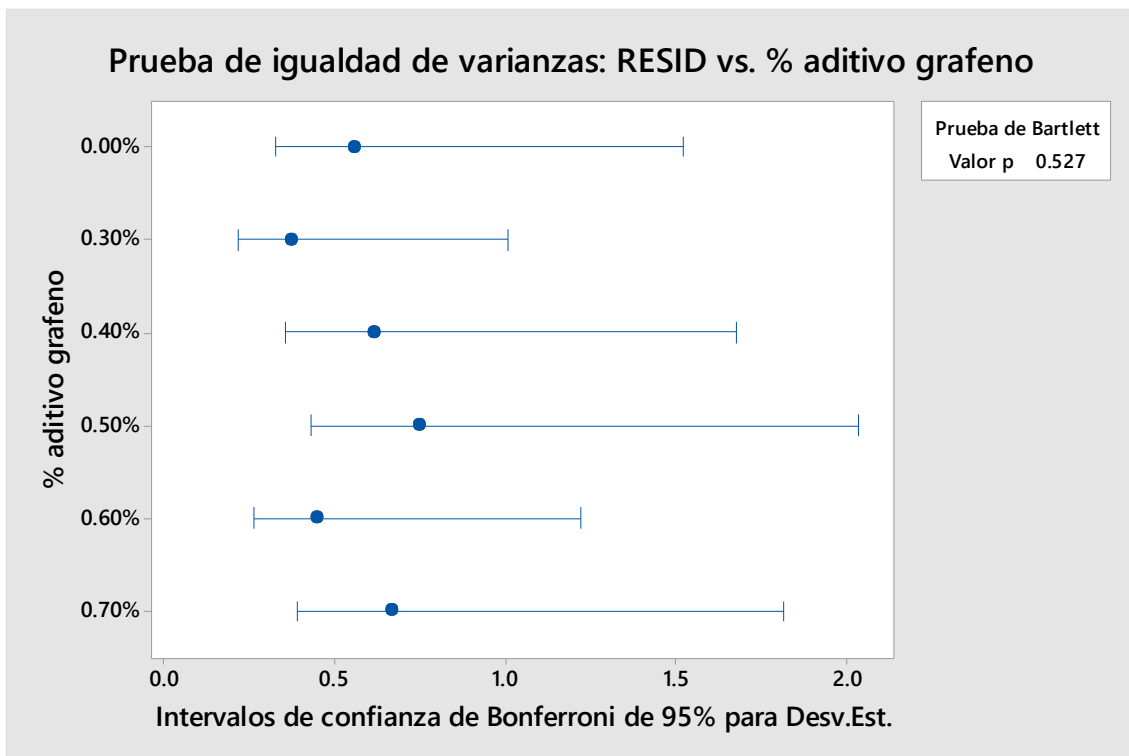


Figura 52: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

Bartlett: 4.16

Valor P: 0.527

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.527 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

2° Análisis de Varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a compresión del diseño del concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 348.40$$

$$\text{Valor } P = 0.0000$$

Decisión: Como Valor P es menor que α ($0.0000 < 0.050$), entonces se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5%, al menos un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos que los otros porcentajes.

3° Comparaciones Múltiples

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$$

$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.60\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.60\%} \neq u_{0.70\%}$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 117: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días

% aditivo grafeno	N	Media	Agrupación
0.70%	8	44.673	A
0.60%	8	43.563	B
0.50%	8	42.176	C
0.40%	8	40.233	D
0.30%	8	37.459	E
0.00%	8	34.684	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis: De la tabla 117 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto son significativamente diferentes, puesto que ningún porcentaje comparte una letra, estadísticamente estos conjuntos de medias son diferentes.

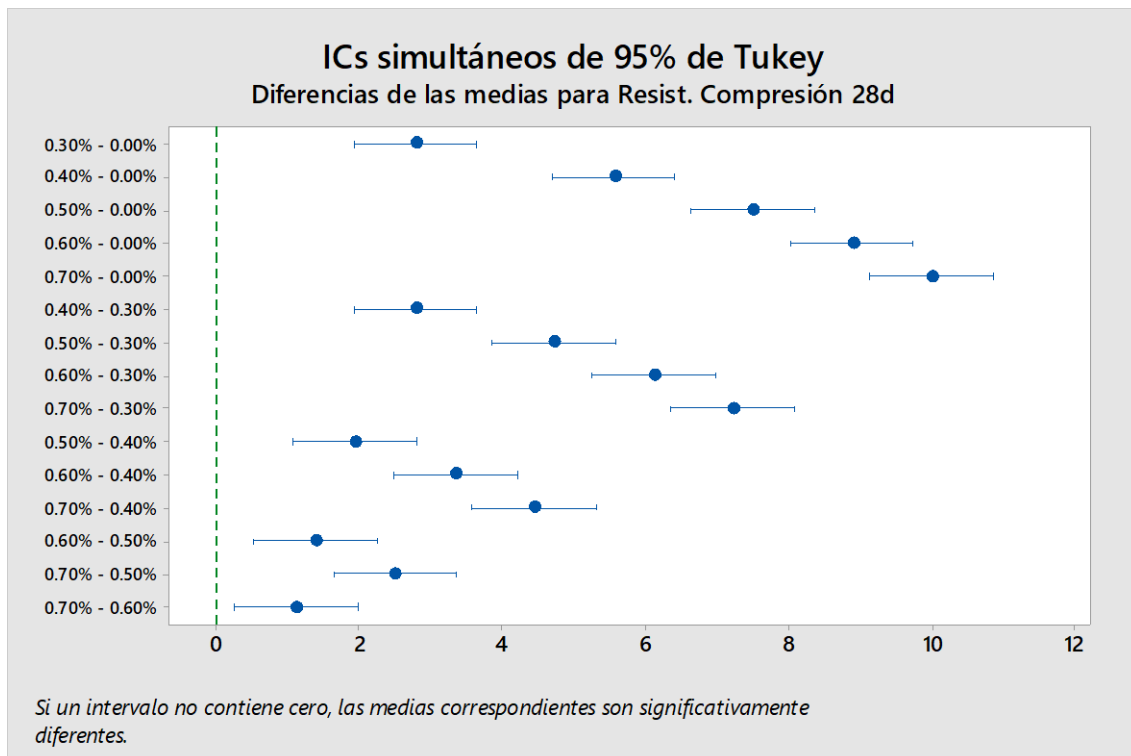


Figura 53: Diferencias de las medias para resistencia a compresión de los especímenes cilíndricos de concreto a los 28 días.

Análisis: Observamos que las medias de la mayoría de pares son significativamente diferentes puesto que no contienen al cero. El único par que se acerca a cero es el par 0.70%-0.60%

Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.70% de aditivo de grafeno proporciona un mayor incremento de la resistencia a compresión del diseño de concreto utilizado en pavimentos, porque tiene mayor promedio (44.67 Mpa).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO RESISTENCIA A FLEXIÓN

FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

c. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

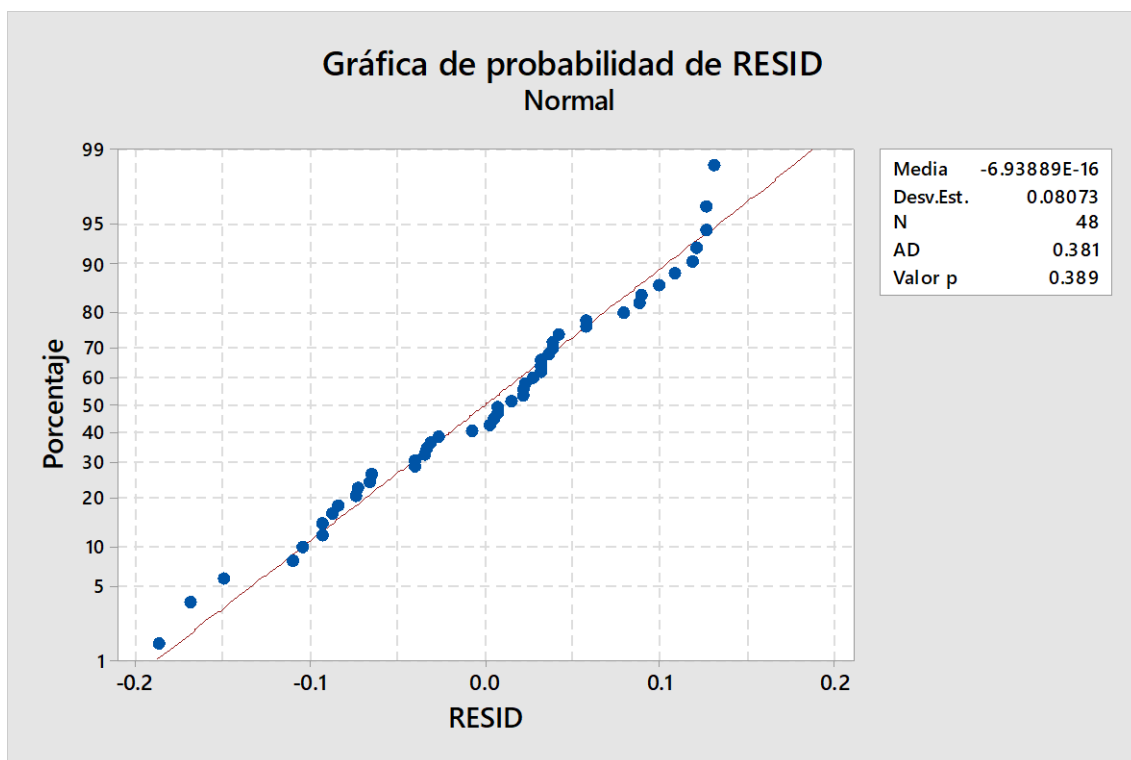


Figura 54: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.005$$

Estadístico de prueba

$$AD = 0.381$$

$$\text{Valor P} = 0.389$$

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.389 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: con una significancia del 5% (0.050) se cumple el supuesto de normalidad.

d. Homogeneidad de Varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales y tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

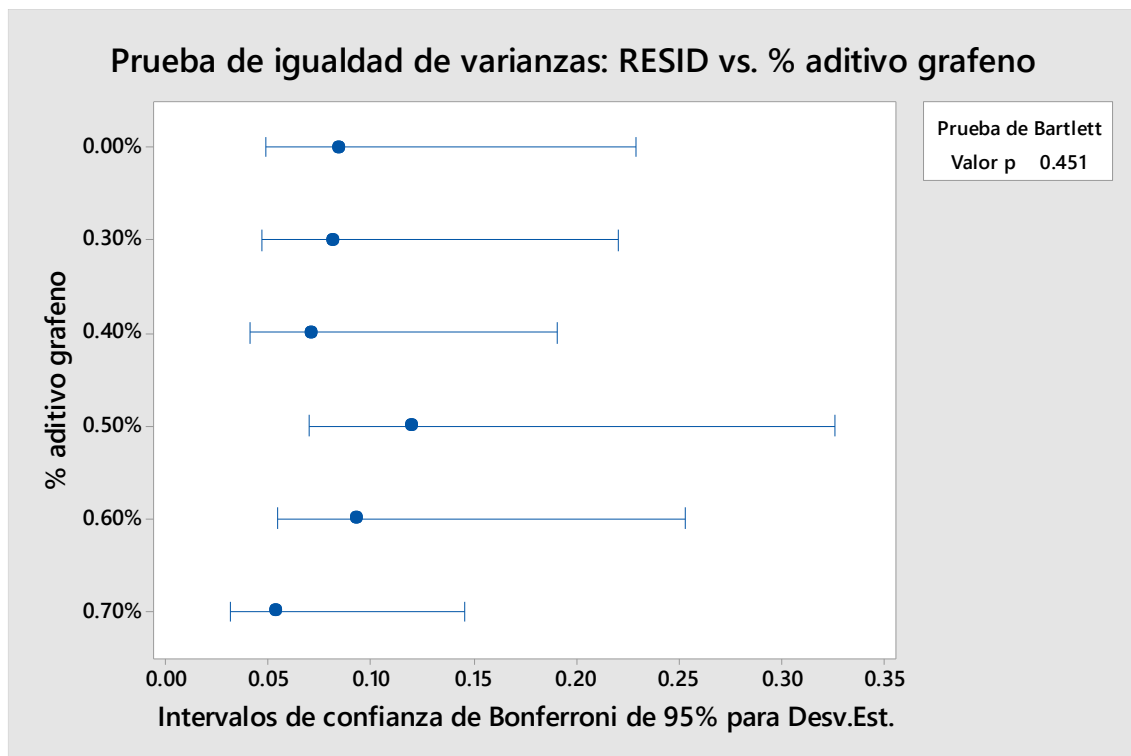


Figura 55: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

Bartlett: 4.72

Valor P: 0.451

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.451 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

2° Análisis de Varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a flexión del diseño del concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba:

$F = 383.79$

Valor P = 0.0000

Decisión: Como Valor P es menor que α ($0.0000 < 0.050$), entonces se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5%, al menos un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos que los otros porcentajes.

3° Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey)

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.50\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.50\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.40\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.40\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.60\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.60\%}$
$H_0 : u_{0.50\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.50\%} \neq u_{0.70\%}$
$H_0 : u_{0.60\%} = u_{0.70\%}$	$H_1 : u_{0.60\%} \neq u_{0.70\%}$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 118: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.

% aditivo grafeno	N	Media	Agrupación
0.70%	8	4.3668	A
0.60%	8	4.2049	B
0.50%	8	3.9754	C
0.40%	8	3.6601	D
0.30%	8	3.2466	E
0.00%	8	2.8237	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis: De la tabla 118 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a flexión de los especímenes de concreto son significativamente diferentes, puesto que ningún porcentaje comparte una letra, estadísticamente estos conjuntos de medias son diferentes.

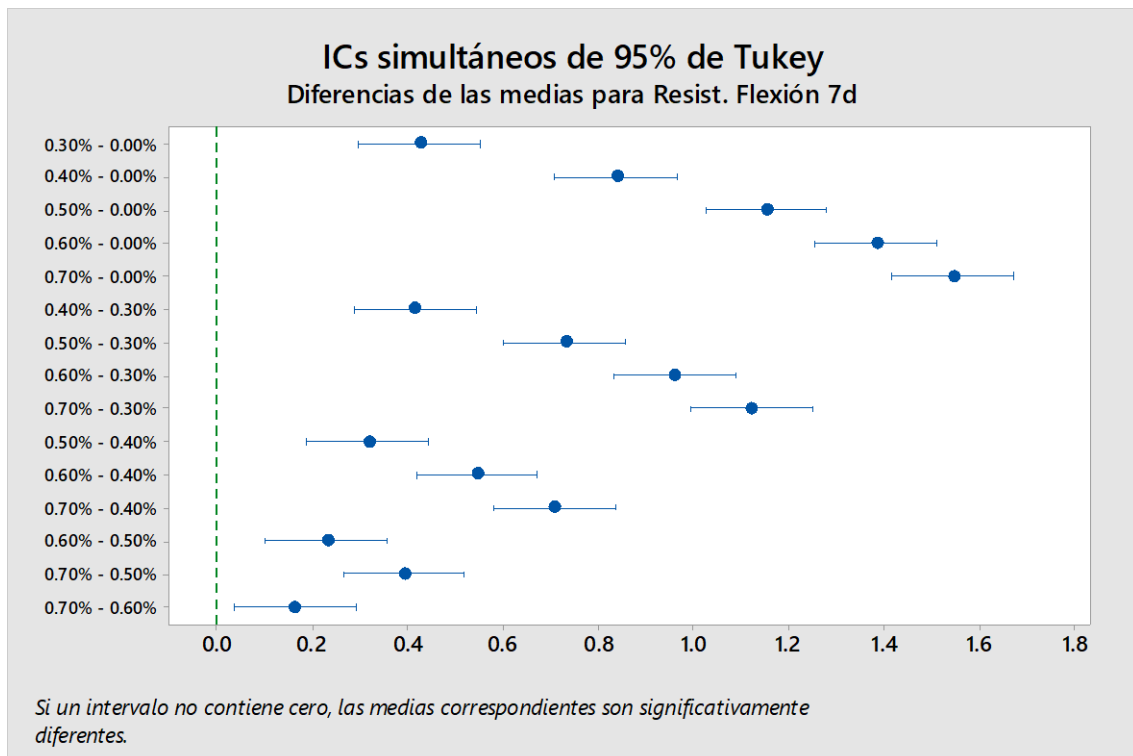


Figura 56: Diferencias de las medias para resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 7 días.

Análisis: Observamos que las medias de la mayoría de pares son significativamente diferentes puesto que no contienen al cero. El único par que se acerca a cero es el par 0.70%-0.60%

Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.70% de aditivo de grafeno proporciona un mayor incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos, porque tiene mayor promedio (4.37 Mpa).

FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

c. Normalidad de los errores

Hipótesis:

Ho: Los residuos se distribuyen normalmente.

H1: Los residuos no se distribuyen normalmente.

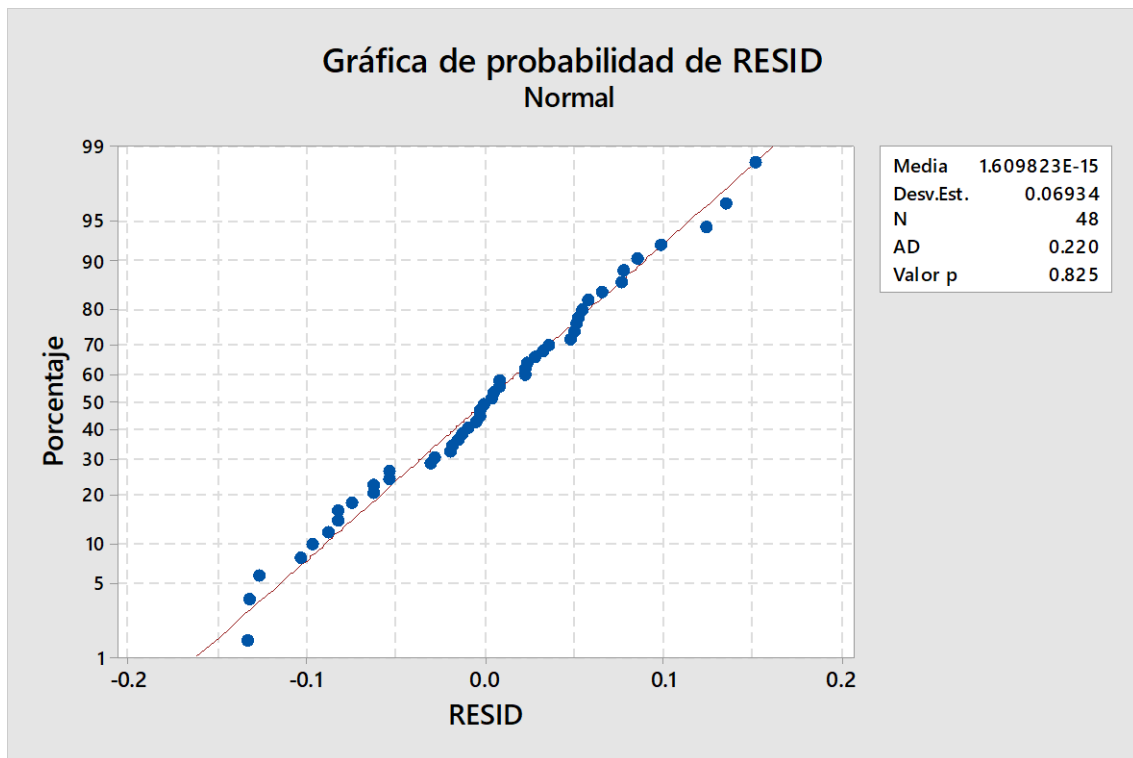


Figura 57: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.005$$

Estadístico de prueba

$$AD = 0.220$$

$$\text{Valor P} = 0.825$$

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.825 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: con una significancia del 5% (0.050) se cumple el supuesto de normalidad.

d. Homogeneidad de Varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales y tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

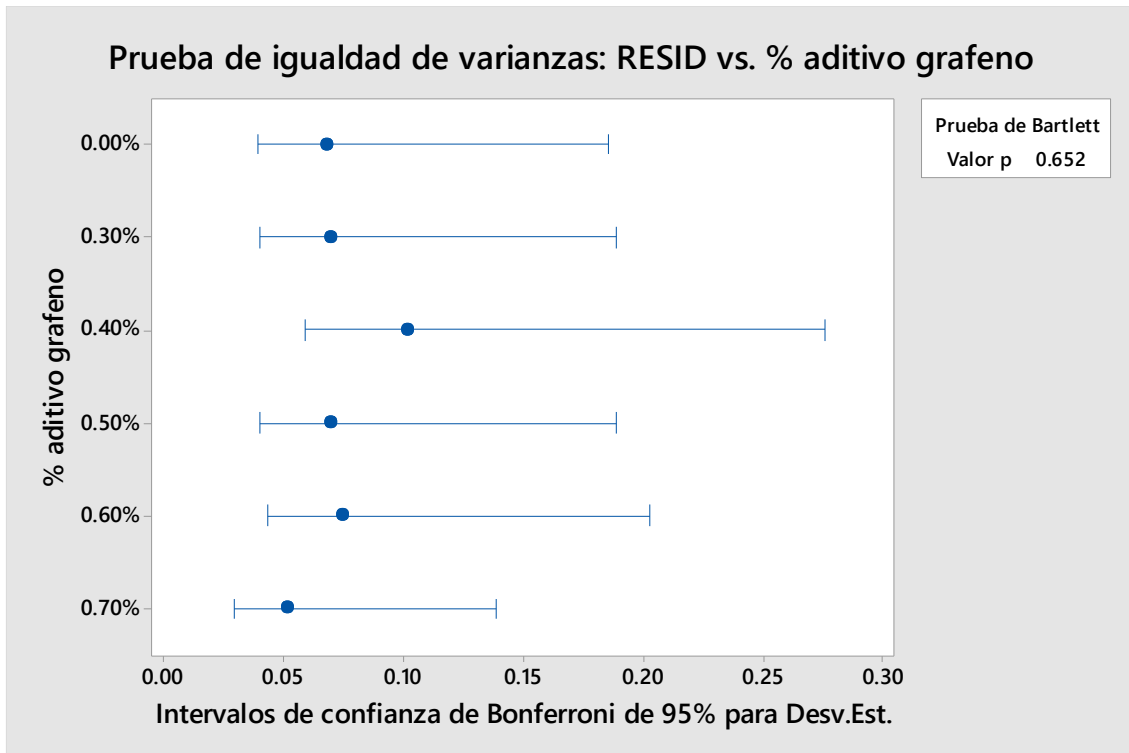


Figura 58: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

Bartlett: 3.31

Valor P: 0.652

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.652 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

2° Análisis de Varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a flexión del diseño del concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

H_0 : $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 480.07$$

$$\text{Valor } P = 0.0000$$

Decisión: Como Valor P es menor que α ($0.0000 < 0.050$), entonces se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5%, al menos un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos que los otros porcentajes.

3° Comparaciones Múltiples

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.60\%}$$

$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$

Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

Tabla 119: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.

% aditivo grafeno	N	Media	Agrupación
0.70%	8	4.6953	A
0.60%	8	4.5728	B
0.50%	8	4.3843	C
0.40%	8	4.1066	D
0.30%	8	3.7172	E
0.00%	8	3.2000	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis: De la tabla 119 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a flexión de los especímenes de concreto son significativamente diferentes, puesto que ningún porcentaje comparte una letra, estadísticamente estos conjuntos de medias son diferentes.

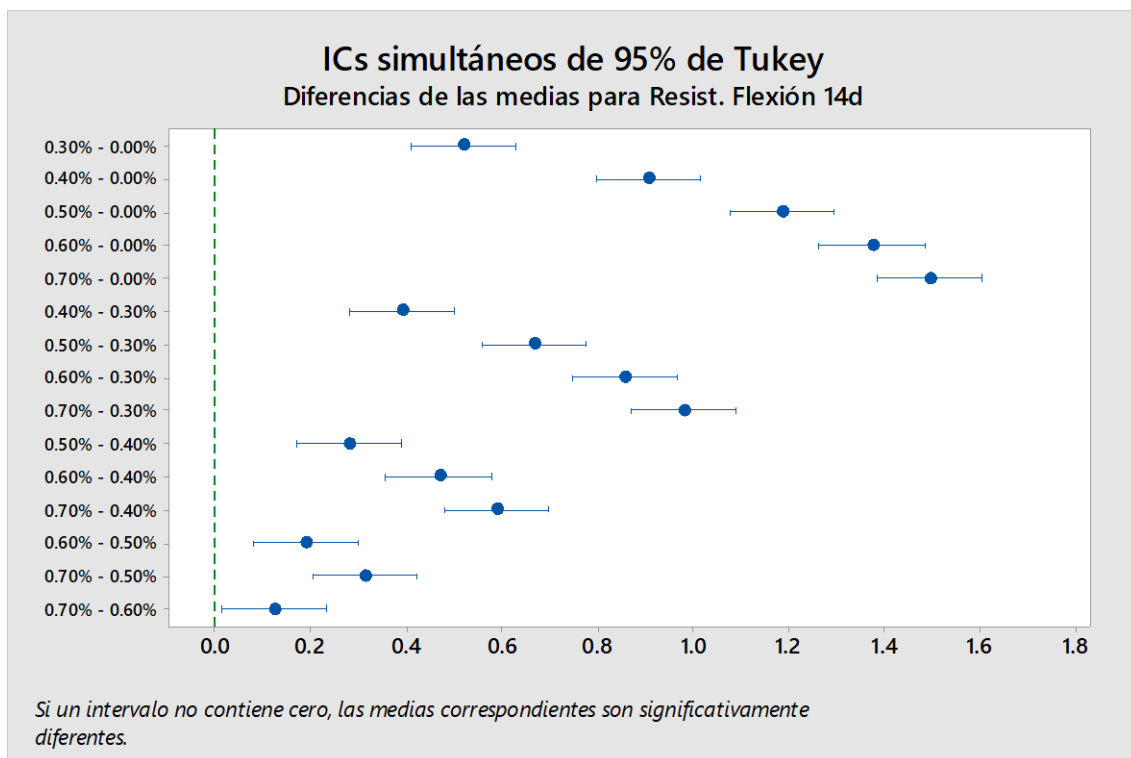


Figura 59: Diferencias de las medias para resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 14 días.

Análisis: Observamos que las medias de la mayoría de pares son significativamente diferentes puesto que no contienen al cero. El único par que se acerca a cero es el par 0.70%-0.60%

Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.70% de aditivo de grafeno proporciona un mayor incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos, porque tiene mayor promedio (4.70 Mpa).

FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

Verificamos:

1° Verificar los supuestos:

c. Normalidad de los errores

Hipótesis:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente.

H_1 : Los residuos no se distribuyen normalmente.

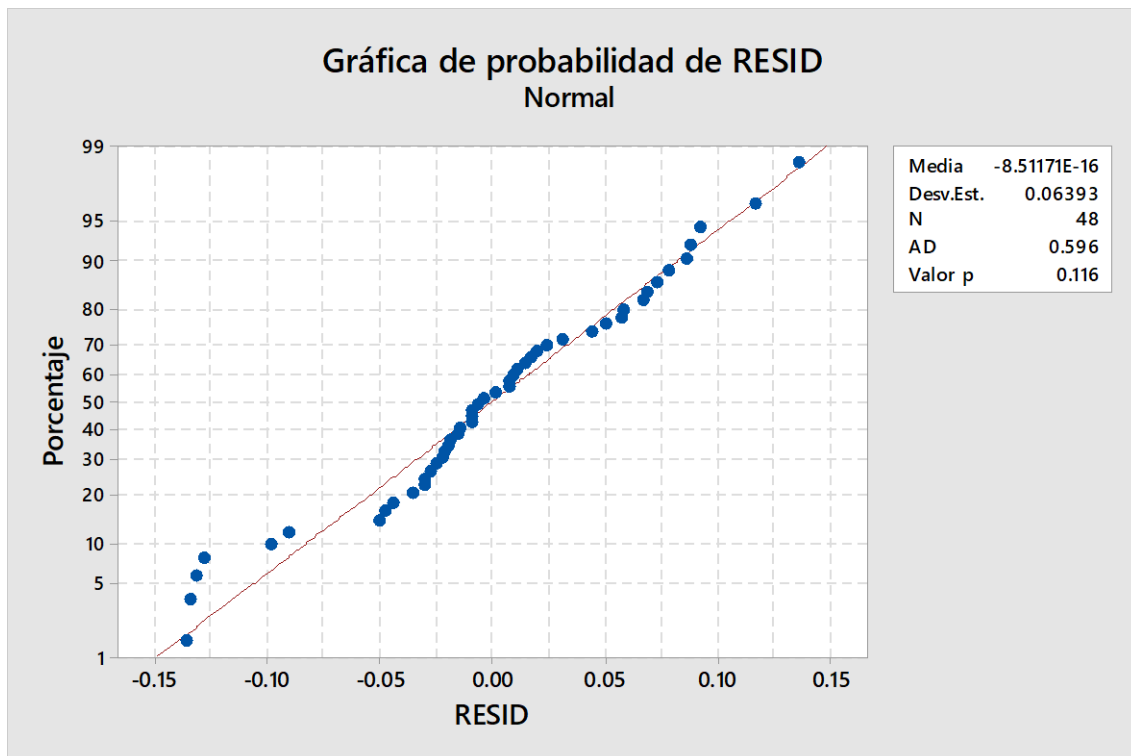


Figura 60: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.005$$

Estadístico de prueba

$$AD = 0.596$$

$$\text{Valor P} = 0.116$$

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.116 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% (0.050) se cumple el supuesto de normalidad.

d. Homogeneidad de Varianzas

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales, se comprobó efectivamente que los datos anteriores son normales y tenemos:

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$$

H_1 : Al menos una varianza es diferente.

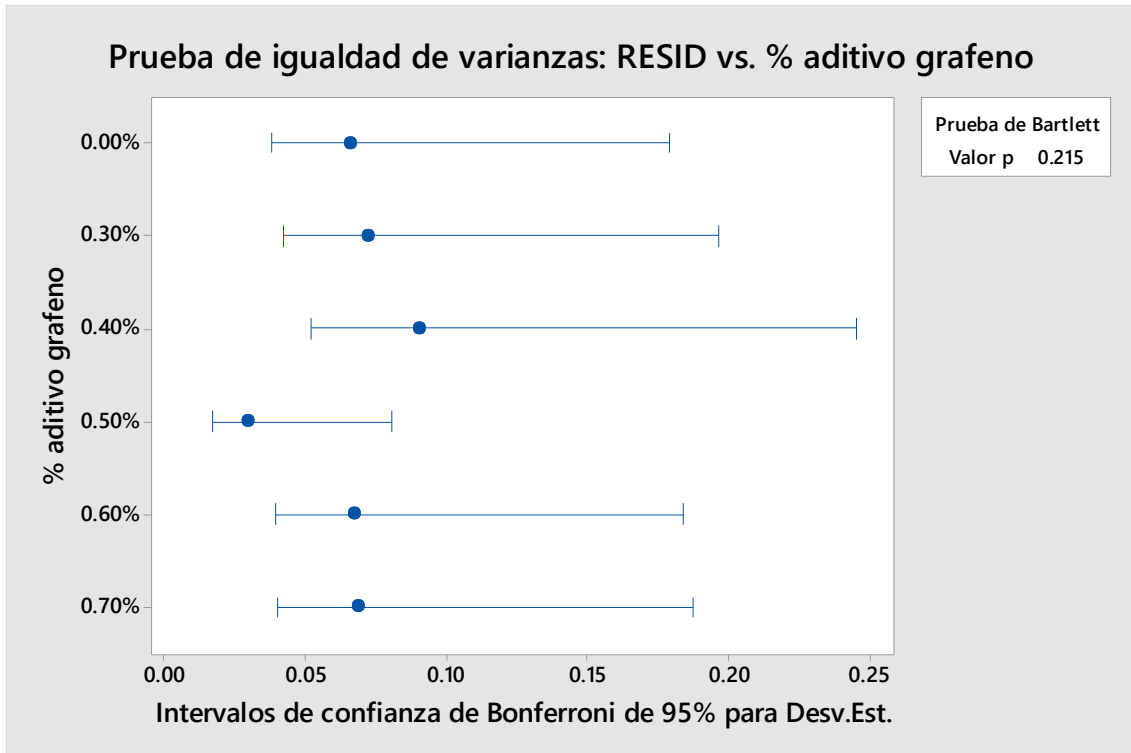


Figura 61: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

Bartlett: 7.07

Valor P: 0.215

Decisión: Como Valor P es mayor que α ($0.215 > 0.050$), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5% se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

2° Análisis de Varianzas

¿Al menos uno de los porcentajes de aditivo de grafeno incrementa la resistencia a flexión del diseño de concreto que los otros cinco?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ (no hay diferencias significativas de los seis porcentajes de aditivo de grafeno en el incremento de la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos)

H_1 : Al menos una u_i es diferente a los demás (un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, que los otros porcentajes)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 514.28$$

Valor P = 0.0000

Decisión: Como Valor P es menor que α ($0.0000 < 0.050$), entonces se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión: Con una significancia del 5%, al menos un porcentaje de aditivo de grafeno incrementa diferentemente la resistencia a flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos que los otros porcentajes.

3° Comparaciones Múltiples

¿Qué porcentaje de aditivo de grafeno incrementa más la resistencia a la flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos?

Prueba de Tukey

Hipótesis:

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.30\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.30\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.40\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.50\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.50\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.60\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.60\%}$$

$$H_0 : u_{0.00\%} = u_{0.70\%}$$

$$H_1 : u_{0.00\%} \neq u_{0.70\%}$$

$$H_0 : u_{0.30\%} = u_{0.40\%}$$

$$H_1 : u_{0.30\%} \neq u_{0.40\%}$$

$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.30\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.30\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.50\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.50\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.40\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.40\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.60\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.60\%}$
$H_0 : \mu_{0.50\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.50\%} \neq \mu_{0.70\%}$
$H_0 : \mu_{0.60\%} = \mu_{0.70\%}$	$H_1 : \mu_{0.60\%} \neq \mu_{0.70\%}$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 120: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.

% aditivo grafeno	N	Media	Agrupación
0.70%	8	4.9085	A
0.60%	8	4.7738	B
0.50%	8	4.5876	C
0.40%	8	4.3205	D
0.30%	8	3.9466	E
0.00%	8	3.4784	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis: De la tabla 120 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto son significativamente diferentes, puesto que ningún porcentaje comparte una letra, estadísticamente estos conjuntos de medias son diferentes.

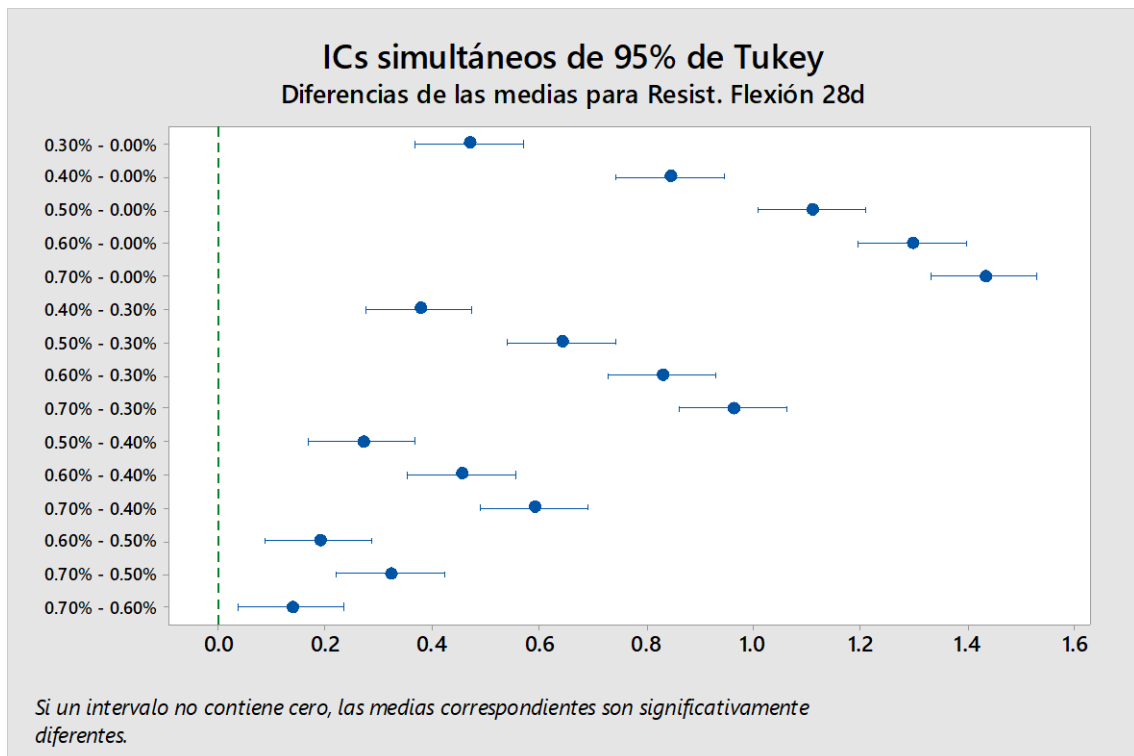


Figura 62: Diferencias de las medias para resistencia a flexión de los especímenes prismáticos de concreto a los 28 días.

Análisis: Observamos que las medias de la mayoría de pares son significativamente diferentes puesto que no contienen al cero. El único par que se acerca a cero es el par 0.70%-0.60%

Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.70% de aditivo de grafeno proporciona una mayor de resistencia a la flexión del diseño de concreto utilizado en pavimentos rígidos, porque tiene mayor promedio (4.91 Mpa).

APÉNDICE VII: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 63: *Elaboración de la mezcla de concreto en laboratorio.*



Figura 64: *Ensayo del cono de Abrahams y medición del asentamiento (Slump)*



Figura 65: Colocación, compactación y enrasado de la mezcla en los moldes cilíndricos.



Figura 66: Colocación y compactación de la mezcla en los moldes prismáticos.



Figura 67: Aditivo de grafeno adicionado a las mezclas, dosificación y pesaje.



Figura 68: Especímenes cilíndricos y prismáticos en la poza de curado.



Figura 69: *Especímenes cilíndricos y prismáticos para ensayos a compresión y flexión (Módulo de Rotura)*



Figura 70: *Codificación de especímenes cilíndricos y prismáticos previo a los correspondientes ensayos*



Figura 71: *Ensayo a compresión de los especímenes cilíndricos.*



Figura 72: *Ensayo a flexión de los especímenes prismáticos*



Figura 73: Tipo de falla en espécimen cilíndrico sin Aditivo de Grafeno a los 28 días



Figura 74: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.30% a los 28 días



Figura 75: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.40% a los 28 días



Figura 76: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.50% a los 28 días



Figura 77: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.60% a los 28 días



Figura 78: Tipo de falla en espécimen cilíndrico con aditivo de grafeno al 0.70% a los 28 días



Figura 79: Tipo de falla en especímenes prismáticos en el centro, sin aditivo y con aditivo de grafeno a los 0.30%, 0.40%, 0.50%, 0.60% y 0.70%

ANEXOS

ANEXO I: FICHA TÉCNICA CEMENTO PACASMAYO TIPO I – BOLSA VERDE



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
-Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Agosto del 2018

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2018 al 30-07-2018
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2016

(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

ANEXO II: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Que el Sr. **GONZÁLES OLÓRTEGUI CRISTIAN ENRIQUE**, Ex alumno de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca de la Maestría en Ciencias, Mención en Ingeniería y Gerencia de la Construcción; que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: "OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO ADITIVO DE GRAFENO". Dichos ensayos se realizaron del 04 de enero al 19 de marzo del 2019, en dicha institución.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 25 de Marzo de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA


Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO III: ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS

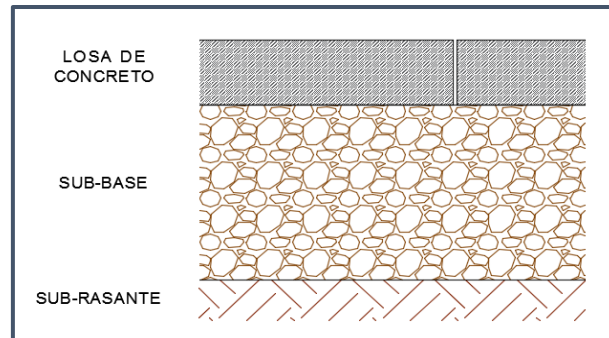


Figura 80: Estructura de pavimento rígido

Fuente: Malaver (2017)

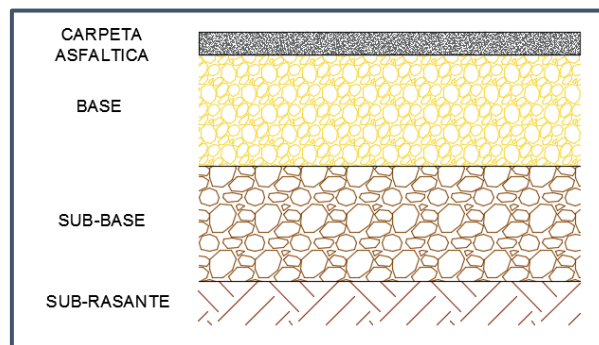


Figura 81: Estructura de pavimento flexible

Fuente: Malaver (2017)

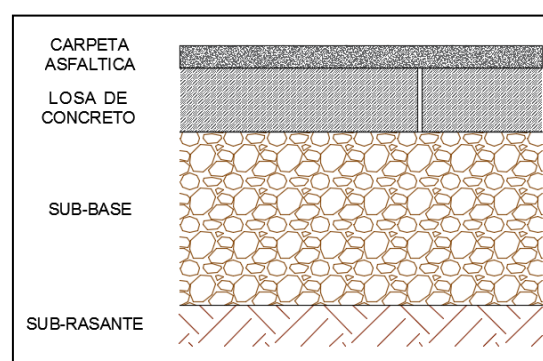


Figura 82: Estructura de pavimento compuesto

Fuente: Malaver (2017)

ANEXO IV: FORMAS ALOTRÓPICAS DEL CARBONO

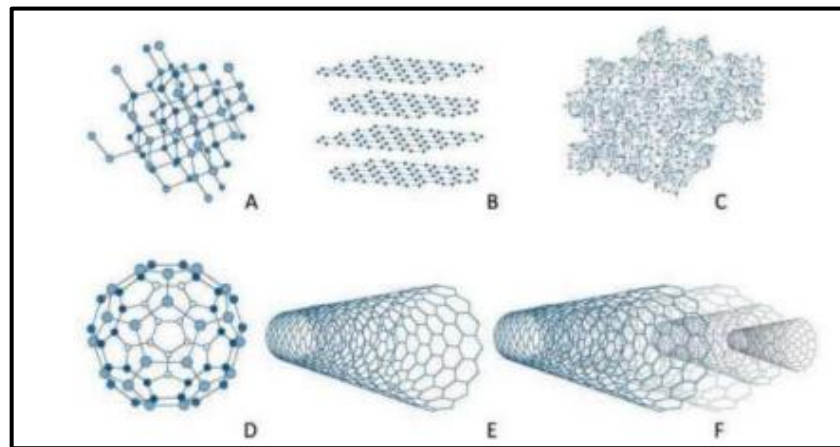


Figura 83: Formas alotrópicas del carbono A) Diamante B) Grafito c)Carbono Amorfo d)Fullereno E) Nanotubo de carbono de pared simple f) nanotubo de carbono de pared múltiple

Fuente: De la Peña et al. (2017)

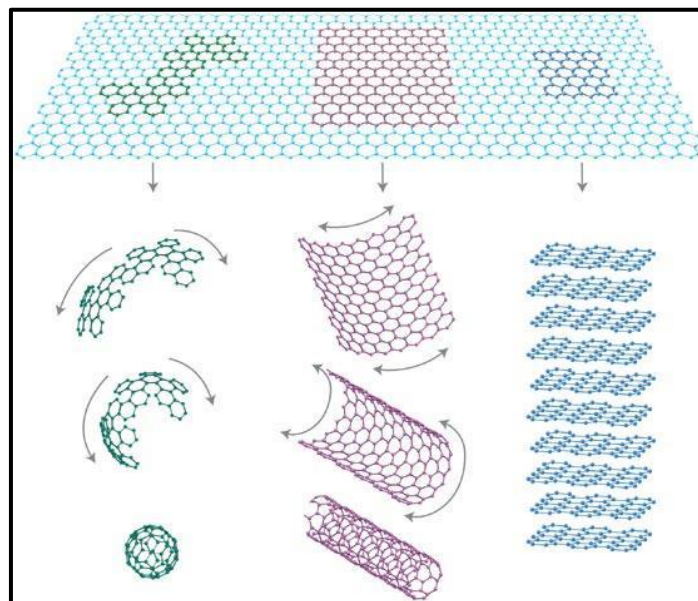


Figura 84: Elementos grafiticos a) Fullerenos (0-D); b) Nanotubos (1-D); c) Grafito (3-D)

Fuente: De la Peña et al. (2017)

**ANEXO V: FICHA TÉCNICA ADITIVO DE GRAFENO –
NANOGRAPHENE DISPERSION**

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According To Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules And Regulations
Date of Issue: 12/11/2017

Version: 1.0

SECTION 1: IDENTIFICATION

1.1. Product Identifier

Product Form: Mixture

Product Name: Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Product Code: NG348-0008D-WE

Synonyms: Graphene dispersion in water-ethanol mixture

1.2. Intended Use of the Product

Use of the Substance/Mixture: Additive material for cement/concrete, energy coating, electronics etc. For professional use only. For research and development use only.

1.3. Name, Address, and Telephone of the Responsible Party

Company

Nano Graphene Inc

67 35th Street C250

Brooklyn, New York 11232

929 293 8880

<https://nanographene.net>

1.4. Emergency Telephone Number

Emergency Number : +372 58181183 Tele2.ee

SECTION 2: HAZARDS IDENTIFICATION

2.1. Classification of the Substance or Mixture

GHS-US Classification

Flam. Liq. 3 H226

Eye Irrit. 2A H319

Full text of hazard classes and H-statements : see section 16

2.2. Label Elements

GHS-US Labeling

Hazard Pictograms (GHS-US) :



Signal Word (GHS-US) :

Warning

Hazard Statements (GHS-US) :

H226 - Flammable liquid and vapour.

H319 - Causes serious eye irritation.

Precautionary Statements (GHS-US) :

P210 - Keep away from extremely high or low temperatures, ignition sources, and incompatible materials. - No smoking.

P233 - Keep container tightly closed.

P240 - Ground/Bond container and receiving equipment.

P241 - Use explosion-proof electrical, ventilating, and lighting equipment.

P242 - Use only non-sparking tools.

P243 - Take precautionary measures against static discharge.

P264 - Wash hands, forearms, and other exposed areas thoroughly after handling.

P280 - Wear protective gloves, protective clothing, and eye protection.

P303+P361+P353 - If on skin (or hair): Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower.

P305+P351+P338 - If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

P337+P313 - If eye irritation persists: Get medical advice/attention.

P370+P378 - In case of fire: Use appropriate media (see section 5) to extinguish.

P403+P235 - Store in a well-ventilated place. Keep cool.

P501 - Dispose of contents/container in accordance with local, regional, national, and international regulations.

2.3. Other Hazards

Exposure may aggravate pre-existing eye, skin, or respiratory conditions.

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

2.4. Unknown Acute Toxicity (GHS-US)

No data available

SECTION 3: COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1. Substance

Not applicable

3.2. Mixture

Name	Product Identifier	%	GHS-US classification
Water	(CAS-No.) 7732-18-5	80	Not classified
Ethyl alcohol	(CAS-No.) 64-17-5	20	Flam. Liq. 2, H225 Eye Irrit. 2A, H319
Graphene	(CAS-No.) 1034343-98-0	0.003	Comb. Dust

Full text of H-phrases: see section 16

SECTION 4: FIRST AID MEASURES

4.1. Description of First-aid Measures

First-aid Measures General: Never give anything by mouth to an unconscious person. If you feel unwell, seek medical advice (show the label where possible).

First-aid Measures After Inhalation: When symptoms occur: go into open air and ventilate suspected area. Obtain medical attention if breathing difficulty persists.

First-aid Measures After Skin Contact: Immediately drench affected area with water for at least 15 minutes. Immediately remove contaminated clothing. Obtain medical attention if irritation develops or persists.

First-aid Measures After Eye Contact: Immediately rinse with water for at least 15 minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Obtain medical attention if irritation develops or persists.

First-aid Measures After Ingestion: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. Obtain medical attention.

4.2. Most Important Symptoms and Effects Both Acute and Delayed

Symptoms/Injuries: Causes serious eye irritation.

Symptoms/Injuries After Inhalation: Prolonged exposure may cause irritation.

Symptoms/Injuries After Skin Contact: Prolonged exposure may cause skin irritation.

Symptoms/Injuries After Eye Contact: Contact causes severe irritation with redness and swelling of the conjunctiva.

Symptoms/Injuries After Ingestion: Ingestion may cause adverse effects.

Chronic Symptoms: None expected under normal conditions of use.

4.3. Indication of Any Immediate Medical Attention and Special Treatment Needed

If exposed or concerned, get medical advice and attention. If medical advice is needed, have product container or label at hand.

SECTION 5: FIRE-FIGHTING MEASURES

5.1. Extinguishing Media

Suitable Extinguishing Media: Dry chemical powder, alcohol-resistant foam, carbon dioxide (CO₂). Water may be ineffective but water should be used to keep fire-exposed container cool.

Unsuitable Extinguishing Media: Do not use a heavy water stream. A heavy water stream may spread burning liquid.

5.2. Special Hazards Arising From the Substance or Mixture

Fire Hazard: Flammable liquid and vapor.

Explosion Hazard: May form flammable or explosive vapor-air mixture.

Reactivity: Reacts violently with strong oxidizers. Increased risk of fire or explosion.

5.3. Advice for Firefighters

Precautionary Measures Fire: Exercise caution when fighting any chemical fire.

Firefighting Instructions: Use water spray or fog for cooling exposed containers. In case of major fire and large quantities:

Evacuate area. Fight fire remotely due to the risk of explosion.

Protection During Firefighting: Do not enter fire area without proper protective equipment, including respiratory protection.

Hazardous Combustion Products: Carbon oxides (CO, CO₂).

SECTION 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1. Personal Precautions, Protective Equipment and Emergency Procedures

General Measures: Avoid all contact with skin, eyes, or clothing. Avoid breathing (vapor, mist, spray). Do not get in eyes, on skin, or on clothing. Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames, and other ignition sources. No smoking. Use special care to avoid static electric charges.

6.1.1. For Non-Emergency Personnel

Protective Equipment: Use appropriate personal protective equipment (PPE).

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Emergency Procedures: Evacuate unnecessary personnel. Stop leak if safe to do so.

6.1.2. For Emergency Personnel

Protective Equipment: Equip cleanup crew with proper protection.

Emergency Procedures: Ventilate area. Eliminate ignition sources. Upon arrival at the scene, a first responder is expected to recognize the presence of dangerous goods, protect oneself and the public, secure the area, and call for the assistance of trained personnel as soon as conditions permit.

6.2. Environmental Precautions

Prevent entry to sewers and public waters.

6.3. Methods and Materials for Containment and Cleaning Up

For Containment: Contain any spills with dikes or absorbents to prevent migration and entry into sewers or streams. As an immediate precautionary measure, isolate spill or leak area in all directions.

Methods for Cleaning Up: Absorb and/or contain spill with inert material. Clean up spills immediately and dispose of waste safely. Transfer spilled material to a suitable container for disposal. Do not take up in combustible material such as: saw dust or cellulosic material. Use only non-sparking tools. Contact competent authorities after a spill.

6.4. Reference to Other Sections

See Section 8 for exposure controls and personal protection and Section 13 for disposal considerations.

SECTION 7: HANDLING AND STORAGE

7.1. Precautions for Safe Handling

Additional Hazards When Processed: Handle empty containers with care because residual vapors are flammable.

Precautions for Safe Handling: Avoid contact with skin, eyes and clothing. Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Avoid breathing vapors, mist, spray. Take precautionary measures against static discharge. Use only non-sparking tools.

Hygiene Measures: Handle in accordance with good industrial hygiene and safety procedures.

7.2. Conditions for Safe Storage, Including Any Incompatibilities

Technical Measures: Comply with applicable regulations. Take action to prevent static discharges. Ground and bond container and receiving equipment. Use explosion-proof electrical, ventilating, and lighting equipment.

Storage Conditions: Store in a dry, cool place. Keep/Store away from direct sunlight, extremely high or low temperatures and incompatible materials. Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed. Keep in fireproof place.

Incompatible Materials: Strong acids, strong bases, strong oxidizers.

7.3. Specific End Use(s)

Additive material for cement/concrete, energy coating, electronics etc. For professional use only. For research and development use only.

SECTION 8: EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1. Control Parameters

For substances listed in section 3 that are not listed here, there are no established exposure limits from the manufacturer, supplier, importer, or the appropriate advisory agency including: ACGIH (TLV), AIHA (WEEL), NIOSH (REL), or OSHA (PEL).

Ethyl alcohol (64-17-5)		
USA ACGIH	ACGIH STEL (ppm)	1000 ppm
USA ACGIH	ACGIH chemical category	Confirmed Animal Carcinogen with Unknown Relevance to Humans
USA NIOSH	NIOSH REL (TWA) (mg/m ³)	1900 mg/m ³
USA NIOSH	NIOSH REL (TWA) (ppm)	1000 ppm
USA IDLH	US IDLH (ppm)	3300 ppm (10% LEL)
USA OSHA	OSHA PEL (TWA) (mg/m ³)	1900 mg/m ³
USA OSHA	OSHA PEL (TWA) (ppm)	1000 ppm

8.2. Exposure Controls

Appropriate Engineering Controls

: Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure. Ensure adequate ventilation, especially in confined areas. Gas detectors should be used when flammable gases or vapors may be released. Proper grounding procedures to avoid static electricity should be followed. Use explosion-proof equipment. Ensure all national/local regulations are observed.

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Personal Protective Equipment

: Gloves. Protective clothing. Protective goggles. Insufficient ventilation: wear respiratory protection.



Materials for Protective Clothing

: Chemically resistant materials and fabrics. Wear fire/flammable resistant/retardant clothing.

Hand Protection

: Wear protective gloves.

Eye and Face Protection

: Chemical safety goggles.

Skin and Body Protection

: Wear suitable protective clothing.

Respiratory Protection

: If exposure limits are exceeded or irritation is experienced, approved respiratory protection should be worn. In case of inadequate ventilation, oxygen deficient atmosphere, or where exposure levels are not known wear approved respiratory protection.

Other Information

: When using, do not eat, drink or smoke.

SECTION 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1. Information on Basic Physical and Chemical Properties

Physical State	: Liquid
Appearance	: Black dispersion
Odor	: Very light sweet
Odor Threshold	: No data available
pH	: 6 - 7
Evaporation Rate	: No data available
Melting Point	: 0 °C (32 °F)
Freezing Point	: No data available
Boiling Point	: 100 °C (212 °F)
Flash Point	: ≈ 36.25 °C (97.25 °F)
Auto-ignition Temperature	: No data available
Decomposition Temperature	: No data available
Flammability (solid, gas)	: Not applicable
Vapor Pressure	: No data available
Relative Vapor Density at 20°C	: No data available
Relative Density	: No data available
Density	: 0.4 g/cm ³
Solubility	: Water: Standard
Partition Coefficient: N-Octanol/Water	: No data available
Viscosity	: 1 cP @ 25 °C

9.2. Other Information No additional information available

SECTION 10: STABILITY AND REACTIVITY

- 10.1. **Reactivity:** Reacts violently with strong oxidizers. Increased risk of fire or explosion.
- 10.2. **Chemical Stability:** Flammable liquid and vapor. May form flammable or explosive vapor-air mixture.
- 10.3. **Possibility of Hazardous Reactions:** Hazardous polymerization will not occur.
- 10.4. **Conditions to Avoid:** Direct sunlight, extremely high or low temperatures, heat, hot surfaces, sparks, open flames, incompatible materials, and other ignition sources.
- 10.5. **Incompatible Materials:** Strong acids, strong bases, strong oxidizers.
- 10.6. **Hazardous Decomposition Products:** None expected under normal conditions of use.

SECTION 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1. Information on Toxicological Effects

Acute Toxicity: Not classified

Ethyl alcohol (64-17-5)	
LD50 Oral Rat	10470 mg/kg
LD50 Dermal Rat	20 ml/kg

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

LCS50 Inhalation Rat	124.7 mg/l/4h
----------------------	---------------

Skin Corrosion/Irritation: Not classified

pH: 6 - 7

Serious Eye Damage/Irritation: Causes serious eye irritation.

pH: 6 - 7

Respiratory or Skin Sensitization: Not classified

Germ Cell Mutagenicity: Not classified

Carcinogenicity: Not classified

Ethyl alcohol (64-17-5)	
IARC group	1
OSHA Hazard Communication Carcinogen List	In OSHA Hazard Communication Carcinogen list.

Reproductive Toxicity: Not classified

Specific Target Organ Toxicity (Single Exposure): Not classified

Specific Target Organ Toxicity (Repeated Exposure): Not classified

Aspiration Hazard: Not classified

Symptoms/Injuries After Inhalation: Prolonged exposure may cause irritation.

Symptoms/Injuries After Skin Contact: Prolonged exposure may cause skin irritation.

Symptoms/Injuries After Eye Contact: Contact causes severe irritation with redness and swelling of the conjunctiva.

Symptoms/Injuries After Ingestion: Ingestion may cause adverse effects.

Chronic Symptoms: None expected under normal conditions of use.

SECTION 12: ECOLOGICAL INFORMATION

12.1. Toxicity

Ecology - General : Not classified.

Ethyl alcohol (64-17-5)	
LCS50 Fish 1	11200 mg/l
EC50 Daphnia 1	9268 - 14221 mg/l (Exposure time: 48 h - Species: Daphnia magna)
LCS50 Fish 2	> 100 mg/l (Exposure time: 96 h - Species: Pimephales promelas [static])
ErC50 (Algae)	1000 mg/l
NOEC Chronic Crustacea	9.6 mg/l

12.2. Persistence and Degradability

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture	
Persistence and Degradability	Not established.

12.3. Bioaccumulative Potential

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture	
Bioaccumulative Potential	Not established.
Ethyl alcohol (64-17-5)	
Log Pow	-0.32

12.4. Mobility in Soil No additional information available

12.5. Other Adverse Effects

Other Information : Avoid release to the environment.

SECTION 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1. Waste Treatment Methods

Waste Disposal Recommendations: Dispose of contents/container in accordance with local, regional, national, and international regulations.

Additional Information: Handle empty containers with care because residual vapors are flammable.

Ecology - Waste Materials: Avoid release to the environment.

SECTION 14: TRANSPORT INFORMATION

The shipping description(s) stated herein were prepared in accordance with certain assumptions at the time the SDS was authored, and can vary based on a number of variables that may or may not have been known at the time the SDS was issued.

14.1. In Accordance with DOT

Proper Shipping Name : ETHANOL SOLUTIONS
 Hazard Class : 3
 Identification Number : UN1170

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Label Codes : 3



Packing Group : III

ERG Number : 127

14.2. In Accordance with IMDG

Proper Shipping Name : ETHANOL SOLUTION (ETHYL ALCOHOL SOLUTION)

Hazard Class : 3

Identification Number : UN1170

Packing Group : III

Label Codes : 3

EmS-No. (Fire) : F-E

EmS-No. (Spillage) : S-D



14.3. In Accordance with IATA

Proper Shipping Name : ETHANOL SOLUTION

Packing Group : III

Identification Number : UN1170

Hazard Class : 3

Label Codes : 3

ERG Code (IATA) : 3L



SECTION 15: REGULATORY INFORMATION

15.1. US Federal Regulations

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture	
SARA Section 311/312 Hazard Classes	Fire hazard Immediate (acute) health hazard
Water (7732-18-5)	
Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory	
Ethyl alcohol (64-17-5)	
Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory	

15.2. US State Regulations

Ethyl alcohol (64-17-5)	
U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List	WARNING: This product contains chemicals known to the State of California to cause cancer. Ethyl Alcohol is included on the Proposition 65 list when it is used in alcoholic beverages.
U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity	WARNING: This product contains chemicals known to the State of California to cause birth defects. Ethyl Alcohol is included on the Proposition 65 list when it is used in alcoholic beverages.
Ethyl alcohol (64-17-5)	
U.S. - Massachusetts - Right To Know List	
U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List	
U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List	

SECTION 16: OTHER INFORMATION, INCLUDING DATE OF PREPARATION OR LAST REVISION

Date of Preparation or Latest Revision	: 12/11/2017
Other Information	: This document has been prepared in accordance with the SDS requirements of the OSHA Hazard Communication Standard 29 CFR 1910.1200

GHS Full Text Phrases:

Comb. Dust	Combustible Dust
Eye Irrit. 2A	Serious eye damage/eye irritation Category 2A
Flam. Liq. 2	Flammable liquids Category 2
Flam. Liq. 3	Flammable liquids Category 3
H225	Highly flammable liquid and vapor

Pristine Graphene dispersion in water-ethanol mixture

Safety Data Sheet

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

H226	Flammable liquid and vapor
H319	Causes serious eye irritation

This information is based on our current knowledge and is intended to describe the product for the purposes of health, safety and environmental requirements only. It should not therefore be construed as guaranteeing any specific property of the product.

SDS US (GHS HazCom)